

# **Ingeniería Concurrente: Una metodología integradora**

**Carles Riba  
Arturo Molina**

**Editores**

**Octubre de 2006**



## Prefacio

El progreso del hombre se relaciona con su capacidad de crear productos y sistemas técnicos de complejidad creciente.

La actividad de los antiguos artesanos tenía un carácter globalizador realizando el proceso completo: concebía el producto (un zapato, una arada, una casa), procuraba los materiales y herramientas, ejecutaba el trabajo y, normalmente trataba directamente con el futuro usuario (o era él mismo). Conocía globalmente el “oficio” (las necesidades, los materiales, las herramientas y los procesos), requiriendo una complejidad relativamente baja desde el punto de vista actual.

Poco a poco (y de forma destacada, a partir de la revolución industrial) los productos y sistemas adquirieron mayor complejidad y dimensión, por lo que su concepción, organización y realización no podían ser realizados ya por una única persona (un artesano, rodeado de uno o más aprendices). Con ello comienza la segmentación de los procesos y la especialización funcional. Inicialmente se especializan ciertas tareas de mantenimiento de las máquinas, que requieren profesionales más habilidosos que los que las operan. Más tarde aparecen especialistas de diseño que generan la documentación para asegurar una mejor coherencia del producto, y facilitar su fabricación, utilización y mantenimiento.

También van apareciendo nuevos profesionales para la gestión, las ventas, la calidad, etc., de forma que en los inicios del siglo XX la especialización funcional es ya un sistema bien establecido y constituye el impulso de una práctica bien establecida que impulsa un fuerte avance en los conocimientos, metodologías y herramientas en cada una de estas actividades. Se establecen ciertas reglas simples para gestionar las interacciones entre las distintas actividades especializadas por funciones, fundamentalmente condicionantes en su secuenciación temporal.

Sin embargo, el aumento de la complejidad de los productos y sistemas unido a la especialización-fragmentación de los conocimientos dio lugar a dificultades crecientes para manejar la visión global y la integración de los proyectos y sistemas técnicos. Fruto de ello son tendencias como: el Taylorismo a inicios del siglo XX que, si bien obtuvo éxitos a nivel económico, acarreó aspectos psicológicos y sociales negativos al asimilar el trabajo humano a una máquina. Esto desdeñó la capacidad de iniciativa de varias generaciones de trabajadores; y la creciente proliferación incontrolada de los impactos ambientales al anteponer determinados parámetros económicos por encima de una consideración más global de los límites de la naturaleza.

Desarrollada a partir de los años 1980, la Ingeniería Concurrente constituye una nueva visión sobre los productos y sistemas técnicos que abre y explora caminos en una nueva y fecunda dirección. En efecto, la Ingeniería Concurrente no rompe con los conocimientos especializados y con los grandes avances conseguidos con ellos, sino que propone nuevos criterios, metodologías y herramientas (de carácter concurrente) para que estos conocimientos tiendan a confluir en soluciones globales e integradas en base a acciones colaborativas.

No es una metodología cerrada o una herramienta comercial, sino un nuevo camino abierto en el que caben numerosas ramas (ingeniería para el ciclo de vida; ingeniería colaborativa) que constituyen aspectos, visiones o experiencias de la misma. Es cierto que la Ingeniería Concurrente nace (y en gran medida se desarrolla) de la mano de la informática distribuida y de internet, pero no se limita exclusivamente a estas herramientas, sino que las trasciende mediante la introducción de nuevos criterios y metodologías. La Ingeniería Concurrente es por lo tanto, una nueva filosofía o cultura de las empresas.

A continuación se exponen muy brevemente varias dimensiones transversales que incorpora el nuevo concepto de Ingeniería Concurrente:

a) Una primera dimensión es el cambio de punto de vista sobre los productos y sistemas técnicos. Se trasciende la visión clásica de la ingeniería que centra la atención en la función del producto o en algún otro aspecto de particular relevancia, para extender la visión a todo su ciclo de vida. La aplicación de este simple principio tiene consecuencias espectaculares (y positivas) en muchas aplicaciones de la nueva ingeniería y abre el camino para cambios trascendentes como la introducción de las preocupaciones ambientales. En este sentido, es interesante la nueva visión de arquitectura de producto y de portafolio de producto.

b) Una segunda dimensión son las nuevas formas de participación en las actividades de la ingeniería concurrente. Se pasa de una organización de carácter secuencial (cada participante actúa en un momento dentro de una secuencia temporal) a una intervención global y colegiada. El principio más interesante es el de participación en las decisiones de todas las distintas voces que tengan algo que decir sobre el producto o sistema técnico (usuarios, diseñadores, fabricantes, mantenedores, administradores). Este principio se suele completar con la designación de responsables por producto o sistema a lo largo del ciclo de vida (o, a una parte significativa de él). Ésta abre posibilidades como la ingeniería colaborativa y el acortamiento de los tiempos de desarrollo.

c) Finalmente, una tercera dimensión de la Ingeniería Concurrente está relacionada con las nuevas posibilidades que ofrece la informática y las telecomunicaciones. El concepto de herramienta asistida por ordenador (diseño, ingeniería y fabricación CAD-CAE-CAM) hoy día se va extendiendo a la totalidad de las actividades de ingeniería. Además de nuevas y espectaculares contribuciones técnicas (como el prototipaje rápido y el utillaje rápido) recientemente han aparecido nuevas herramientas de gran calado integrador, tales como los sistemas de gestión de datos de producto y la gestión del ciclo de vida de producto (PDM y PLM, por sus siglas en inglés)

Este libro es uno de los frutos de la RETDIC (Red Temática Docente Iberoamericana de Ingeniería Concurrente) financiada por el gobierno español (AECI, Agencia Española para Cooperación Internacional) durante los años 2002 a 2004 y en la que participaron 6 universidades, tres españolas (UPC, Universitat Politècnica de Catalunya, de Barcelona; UdG, Universitat de Girona, y UJI, Universitat Jaume I de Castelló de la Plana) y 3 universidades Iberoamericanas (UniNorte, Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia; Universidad de Holguín, Cuba; y el Tecnológico de Monterrey, México). La experiencia fue muy rica e intensa y, además del presente libro, ha dejado una estela de relaciones, intercambios y proyectos.

El libro se compone de 5 secciones coordinadas cada una de ellas por un editor. La Sección I, Coordinada por el Dr. Heriberto Maury (Uninorte), trata de los Fundamentos de la Ingeniería Concurrente; la sección II, coordinada por el Dr. Carles Riba (UPC) trata de las metodologías y herramientas; la Sección III, coordinada por el Dr. Martí Casadesús (UdG) trata de la gestión en la nueva organización; la Sección IV, coordinada por el Dr. Arturo Molina (Tecnológico de Monterrey), trata de las tecnologías de la información y, finalmente, la Sección V, coordinada por el Dr. Carlos Vila (UJI) trata de las experiencias de aplicación de la Ingeniería Concurrente en Iberoamérica.

Los editores, junto con los numerosos autores de la obra, todos ellos participantes o conectados con miembros de la RETDIC, deseamos que su lectura sea de interés y utilidad.

Carles Riba (Universitat Politècnica de Catalunya)  
Arturo Molina (Tecnológico de Monterrey)

## ÍNDICE

### **Prefacio**

Carles Riba, Arturo Molina pág. 5

### **SECCIÓN I. Fundamentos**

Coordinador de la sección: Heriberto Maury 9

1. **El concepto de ciclo de vida**  
Carmenza Luna, Heriberto Maury, Carles Riba 11
2. **Evolución de los modelos del proceso de diseño**  
Paola Farias, Joaquín Aca, Arturo Molina, Heriberto Maury, Carles Riba 21
3. **Familia, portafolio y gama de productos**  
Carles Riba, Sònia Llorens, Judit Coll, Heriberto Maury 37
4. **Arquitectura de producto y modularidad**  
Heriberto Maury, Humberto Gómez, Carles Riba, Judit Coll, Pablo Genovese 49
5. **Flujo de información en el proceso de diseño**  
Inés Ferrer, Quim de Ciurana, José Ríos 63

### **SECCIÓN II. Metodologías de ingeniería concurrente**

Coordinador de la sección: Carles Riba 75

6. **Evolución de las metodologías de apoyo a la ingeniería concurrente**  
Horacio Ahuett 77
7. **Diseño de configuración**  
Carles Riba, Carles Domènech, Wladimir Rodríguez, Heriberto Maury 87
8. **Diseño para fabricación y montaje**  
Julio Serrano, Gracia M. Bruscas, Fernando Romero 107
9. **Diseño para servicio y entorno**  
Judit Coll, Huáscar Paz, Carles Riba 123
10. **Innovación y creatividad**  
Marisela Rodríguez 137

### **SECCIÓN III. Gestión de la nueva organización**

Coordinador de la sección: Martí Casadesús 147

11. **Evolución de la organización hacia la ingeniería concurrente**  
Rodolfo De Castro, Gerusa Giménez 149
12. **Desarrollo de productos en redes colaborativas**  
Fernando Romero, Carlos Vila 159
13. **La gestión de la calidad como sistema de integración**  
Martí Casadesús, Marta Albertí, Iñaki Heras 173
14. **Gestión de equipos de trabajo para la ingeniería concurrente**  
Carmenza Luna, Francisco-Cruz Lario 181

<b>SECCIÓN IV. Tecnologías de información</b>	
Coordinador de la sección: Arturo Molina	191
<b>15. Tecnologías de información para ingeniería concurrente</b>	
Ricardo Mejía, Arturo Molina	193
<b>16. Evolución de los sistemas de apoyo a la ingeniería. Del CAD a los sistemas basados en conocimiento</b>	
Roberto Pérez R., David Guerra, Arturo Molina, Ahmed Al-Ashaab, Karina Rodríguez	207
<b>17. Tecnologías de apoyo al desarrollo de moldes y matrices – Producción y series cortas</b>	
Ciro A. Rodríguez, Horacio Ahuett, Víctor Vázquez	217
<b>18. Herramientas para la interacción y comunicación</b>	
Carlos Vila, Manuel Contero	229
<b>19. Gestión del proceso de desarrollo de producto</b>	
Carlos Vila, Vanesa Galmés, Maria Luisa García-Romeu	237
<b>20. Fabrica virtual – La era de la manufactura digital</b>	
Miguel de J. Ramírez, Roberto Rosas, Arturo Molina	251
<b>SECCIÓN V. Experiencias de aplicación en iberoamérica</b>	
Coordinador de la sección: Carlos Vila	263
<b>21. CASO 1: Diseño concurrente de piscina olímpica para el ciclo de vida (Astral Pool)</b>	
Carles Riba, Heriberto Maury, Roberto Pérez R., Xavier Vila	265
<b>22. CASO 2: Introducción e implantación de ingeniería concurrente en la industria mexicana</b>	
Joaquín Aca, Arturo Molina, Ahmed Al-Ashaab	273
<b>23. CASO 3: Implantación de nuevas tecnologías para el desarrollo concurrente de productos</b>	
Carlos Vila, Pedro Company, Vanesa Galmés	287
<b>Anexo 1. Diccionario de acrónimos y de palabras en inglés</b>	307
<b>Anexo 2. Relación de autores</b>	313

---

## SECCIÓN I

# Fundamentos

---

Coordinador de la sección:  
**Heriberto Maury**  
Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia  
[hmaury@uninorte.edu.co](mailto:hmaury@uninorte.edu.co)

La primera sección de esta obra tiene como propósito exponer las bases, las ventajas y la relevancia de las aproximaciones concurrentes y colaborativas cuando se pretende desarrollar sistemas competitivos orientados a mercados globales por parte de equipos multidisciplinarios.

Debido a la importancia que toma el concepto de ciclo de vida (CV) cuando se aborda el desarrollo de sistemas con una visión concurrente, en el primer capítulo se presenta su significado considerando una amplia gama de escenarios: proyecto, producto, organizaciones y servicios entre otros.

Como el propósito fundamental de la ingeniería concurrente (IC) es el desarrollo de soluciones competitivas a través de considerar su ciclo de vida, incrementar su valor agregado, mejorar la calidad, los costes y el tiempo de desarrollo; entonces resulta de vital importancia, el llevar a cabo la fase de diseño eliminando las barreras entre las diversas fases de desarrollo y también el manejar y aplicar conceptos que permitan obtener ventaja competitiva en el ciclo de vida de las soluciones. Estos conceptos necesarios son la arquitectura de producto, plataforma de producto, portafolio, familia y gama de producto que son presentados y estudiados con detalle en los capítulos 2, 3 y 4 de esta sección.

Finalmente, en el capítulo 5 se describe como es el flujo de información en el proceso de diseño y se hace énfasis sobre la definición de las especificaciones.





---

# 1 El concepto de ciclo de vida

---

**Carmenza Luna<sup>+</sup>, Heriberto Maury<sup>++</sup>**

<sup>+</sup>Departamento de Ingeniería Industrial

<sup>++</sup>Grupo de investigación en Materiales, Procesos y Diseño (GIMYP)

Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia

[cluna@uninorte.edu.co](mailto:cluna@uninorte.edu.co); [hmaury@uninorte.edu.co](mailto:hmaury@uninorte.edu.co)

**Carles Riba**

Centre de disseny d'Equips Industrials (CDEI)

Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Barcelona, España

[carles.riba@upc.edu](mailto:carles.riba@upc.edu)

*Este capítulo introduce el concepto clave de ciclo de vida para las principales entidades que intervienen en la satisfacción de las necesidades humanas, tanto en los resultados (productos y servicios) como en las actividades destinadas a su realización (proyectos y las propias organizaciones).*

*En el primer apartado se describen las distintas entidades que intervienen en los procesos productivos. En los apartados segundo y tercero se tratan de distintas visiones del ciclo de vida del producto y de sus costes asociados. En los apartados cuarto y quinto se describe el ciclo de vida y los recursos asociados a los proyectos y, de forma más general, a las entidades relacionadas con las organizaciones. En el apartado sexto se hace una reflexión sobre el concepto de desarrollo tradicional secuencial y el inconveniente de lo que se conoce como “comunicarse sobre la pared”. El capítulo termina con unas reflexiones sobre la nueva visión que el concepto de ciclo de vida da para la ingeniería concurrente y las nuevas perspectivas que se abren.*

## 1.1 Productos y proyectos

Las personas y colectividades humanas realizan numerosas actividades para satisfacer sus necesidades que conducen a resultados conocidos como productos y servicios. Aunque estos términos tienen características difíciles de delimitar, podría establecerse que un producto es el resultado (concluido) obtenido por un proceso de producción, mientras que un servicio está contenido en el propio proceso, aunque normalmente también suele involucrar el uso o consumo de productos obtenidos en procesos anteriores.

Las organizaciones básicas que ofrecen estos productos y servicios son las empresas y las administraciones en cuyo seno se desarrollan las actividades citadas anteriormente. Sin embargo, más allá de desarrollar estas actividades, las citadas organizaciones también pueden ser vistas como algo que debe ser inventado, definido, diseñado, construido, operado y puesto fuera de uso, de la misma forma que cualquier otro producto o servicio, aunque su arquitectura se apoya en métodos especiales con características peculiares [Bernus y Nemes, 2003].

En cualquier organización emergen nuevos requerimientos y oportunidades internas o externas que llevan a redefinir y a implementar nuevas actividades en su seno que se organizan en forma de proyectos. Cada una de estas actividades tiene un tamaño y un tiempo distinto, por lo que las organizaciones (empresas y administraciones) se articulan alrededor de un trenzado de proyectos relacionados entre sí, acordes con su misión, que constituyen su razón de ser.

Tanto los productos y servicios como las organizaciones son realidades dinámicas que evolucionan con el tiempo, y es a esta evolución que recorre cualquiera de estas entidades, desde que inicia su existencia hasta que la termina, lo que se conoce con el nombre de ciclo de vida (en inglés, life-cycle). Para el análisis que se realiza a continuación, se ha considerado pertinente partir de la diferencia presentada por [Riba, 2002] quien hace énfasis entre dos entidades básicas relacionadas con las actividades de las organizaciones como son los productos y los proyectos y que a veces aparecen confundidos en la literatura técnica.

La metodología clásica o secuencial de desarrollo de producto se basa en un esquema de trabajo que procura colocar un producto en el mercado con el mejor precio de venta y en la posición más ventajosa posible, usando unos modelos (discutibles) de evaluación de costes que no contemplan, entre otros, los daños medioambientales o la salud laboral y que, además, vienen enmascarados por otros costes no visibles como son los impuestos [Vila, 2000].

En el contexto de las nuevas metodologías y herramientas que conforman la Ingeniería Concurrente, el esquema director tradicional de desarrollo secuencial de las actividades debe de ser substituido por un nuevo esquema que ha venido a denominarse diseño para el ciclo de vida [Alting, 1995], que hace un énfasis especial a la producción sostenible que tenga en cuenta el medio ambiente, la salud laboral y la minimización del uso de recursos colectivos [Prasad, 1996] [Prasad, 1997], citada también como el concepto clave que define una nueva cultura industrial, la producción sostenible [Capuz y Gómez, 2002].

## 1.2 Ciclo de vida de un producto

El ciclo de vida de un producto es el conjunto de etapas que recorre un producto individual (o conjunto interrelacionado de componentes físicos o intangibles) destinado a satisfacer una necesidad (una lavadora doméstica, un programa de ordenador, una tarjeta de crédito) desde que éste es creado hasta su fin de vida.

[Syam y Menon, 1994] distinguen las siguientes etapas del ciclo de vida al analizar la evolución de los costos a lo largo del ciclo de vida: 1. Diseño conceptual y preliminar; 2. Diseño de detalle y desarrollo; 3. Producción y/o construcción; 4. Uso del producto; 5. Fin de vida y retiro.

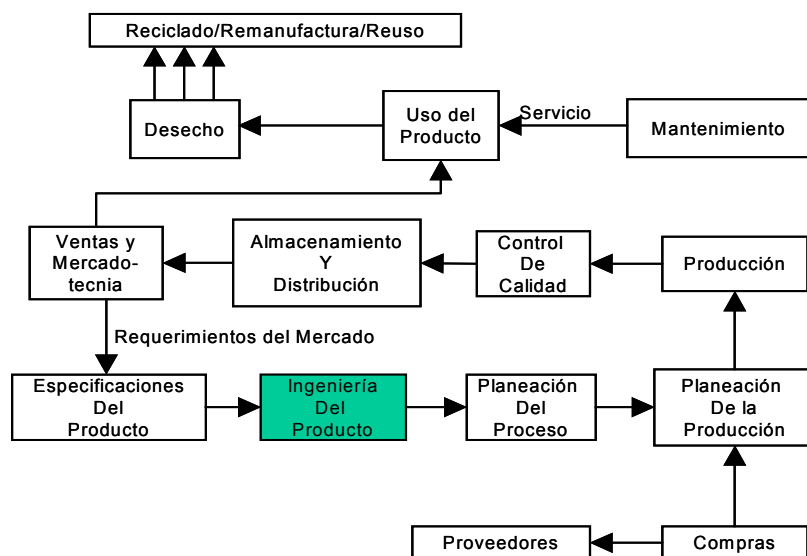


Figura 1.1. Ciclo de Vida del Producto (fuente: [CERG-1999])

El Grupo de Investigación de Ingeniería Concurrente del ITESM-CERG [CERG-1999] en México ha desarrollado su trabajo entendiendo por Ciclo de Vida del Producto todas las etapas por las que el producto pasa desde su concepción hasta su desecho o reutilización como se muestra en la figura 1.1. Este esquema puede ser analizado desde el enfoque de las actividades (o etapas) del ciclo de vida del producto. Las etapas desarrolladas son mercadotecnia, especificación de producto, ingeniería de producto, planeación de proceso, planeación de la producción, producción, control de calidad, distribución, ventas hasta el desecho, reuso o remanufactura del mismo.

Otro esquema del ciclo de vida del producto es el de seis etapas planteadas por [Riba, 2002]:

*Decisión y definición.* Se refiere a la decisión de crearlo y a la tarea de definirlo por medio de especificaciones. Aquí se debe tener especial cuidado en revisar el mercado potencial, las capacidades de la empresa y otros aspectos externos que pueden influir en la decisión de desarrollar un producto.

*Diseño y desarrollo.* Agrupa las actividades que tienen por objeto la concepción de un producto según unas especificaciones y definirlo según las características que permitan su fabricación; también las acciones destinadas a llevar el producto al mercado.

*Fabricación.* Conjunto de actividades destinadas a la realización efectiva del producto, cumpliendo condiciones de calidad, precio y tiempo.

*Distribución y comercialización.* Etapa del ciclo de vida del producto que, a pesar de no aumentar su valor, tiene gran importancia para hacer efectivo su uso. Incluye las actividades de transporte y la distribución, así como de comercialización.

*Utilización y mantenimiento.* Es el ejercicio de la función para la cual fue diseñado el producto. Cuando el producto falla la actividad de mantenimiento se encarga de mantener o reponer este uso.

*Fin de vida.* Es la decisión del fin de vida útil del proyecto y su eliminación que puede presentar varias formas de consecuencias económicas y medioambientales muy distintas: reutilización del producto; reciclado de materiales; recuperación de energía por medio de la combustión; o vertido (en principio controlado).

#### *Comentarios*

Más allá de las múltiples clasificaciones y niveles de subdivisión que hacen los distintos autores sobre este tema, se puede afirmar que la mayoría de ellos muestran estructuras similares del ciclo de vida, radicando las diferencias básicas en el número y la denominación de las etapas.

Se destaca que el ciclo de vida de un producto puede subdividirse en dos partes: La primera de ellas incluye las etapas que son responsabilidad y/o están bajo el control del fabricante, y que normalmente se dan al interior de la empresa (o de la cadena de suministro) que lo originan y transfieren, tales como: marketing, diseño y desarrollo, producción y comercialización; mientras que la segunda parte incluye el uso y mantenimiento, el fin de vida y la eliminación que se dan en manos del usuario y, en algunos casos, de la colectividad [Riba, 2002].

### **1.3 Costo del ciclo de vida del producto**

El concepto de costo del ciclo de vida va asociado al conjunto de etapas recorridas por el producto más allá de las de fabricación y comercialización, lo que puede poner de manifiesto costes muy superiores al precio de venta.

La evaluación del coste real de ciclo de vida de un producto suele ser difícil debido a la discontinuidad que se produce en la transferencia entre fabricante y usuario y la falta de control contable durante la utilización y mantenimiento del mismo. Sin embargo, no por ello es menos importante su estimación ya que puede incidir de forma determinante en decisiones de diseño.

Según pone de manifiesto [Riba, 2002], la empresa fabricante lleva un control preciso sobre los costes de las etapas en las cuales es responsable:

- Costo de definición
- Costo de diseño y desarrollo
- Costo de fabricación
- Costo de distribución y comercialización

A partir de la evaluación de estos costos la empresa asigna el precio de venta del producto y le adiciona el beneficio para la empresa.

Pero el costo global del ciclo de vida del producto incluye además el costo de las etapas posteriores que son responsabilidad del usuario y de la colectividad:

- Costo de utilización y mantenimiento
- Costo del fin de vida

Ejemplo: La tabla 1.1 resume el coste de ciclo de vida para una lavadora doméstica donde aparecen no solo los costes asociados a su concepción, diseño, fabricación y comercialización, sino también los costes de utilización, mantenimiento y un coste simbólico de fin de vida.

En ella se puede observar que el coste del ciclo de vida de esta lavadora doméstica es casi 4 veces el precio de venta. Dentro de estos costes, el valor más determinante es el consumo de jabón + suavizante, por lo que los esfuerzos para ahorrar estos consumibles en el proceso de lavado permiten obtener los mayores beneficios para el usuario.

Tabla 1.1. Coste del ciclo de vida de una lavadora doméstica

Precio de venta (concepción, desarrollo, fabricación, comercialización + impuestos)	600 €
<b>Total precio de venta</b>	<b>600 €</b>
Consumo de agua (8 años; 400 lavados/año; 0,080 m <sup>3</sup> /lavado; 1 €/m <sup>3</sup> )	256 €
Energía eléctrica (8 años; 400 lavados/año; 0,35 kWh/ciclo; 0,10 €/kWh)	112 €
Jabón y suavizante (8 años; 400 lavados/año; 0,30 €/lavado)	960 €
Imprevistos y reparaciones (8 años; 25 €/año)	200 €
<b>Total usuario</b>	<b>1528 €</b>
Costes derivados de la contaminación (asumidos por la sociedad)	100 €
Costes derivados del fin de vida (asumidos por la sociedad)	50 €
<b>Total impactos sociales</b>	<b>150 €</b>
<b>Coste del ciclo de vida (380% del precio de venta)</b>	<b>2278 €</b>

En el análisis de costo del ciclo de vida del producto es importante tener claro la diferencia entre el momento en que se efectúa el gasto y el momento en que este queda comprometido. Autores como [Nevins y Withney, 1989] afirman que el diseño de un producto determina y compromete alrededor del 70% de los costos totales de su ciclo de vida. De acuerdo con lo anterior, es conveniente dedicar una mayor atención y recursos en las etapas de definición, concepción y diseño de

los productos y servicios. La figura 1.2 compara el costo comprometido con el efectivamente realizado para cada fase del ciclo de vida.

Analizando esta figura se puede apreciar que en las etapas iniciales de desarrollo se comprometen los costes que serán efectuados en etapas posteriores. Ello determina que cuando se llegue a la preparación de la fabricación ya es poco lo que se puede influir sobre los costes. Así pues deben orientarse los mayores esfuerzos en las primeras fases del ciclo de vida (definición y diseño) ya que es allí donde se pueden lograr los mayores ahorros. De ahí la importancia de mejorar las técnicas de diseño así como la comunicación, coordinación e integración entre los diferentes miembros y departamentos involucrados en el ciclo de vida.

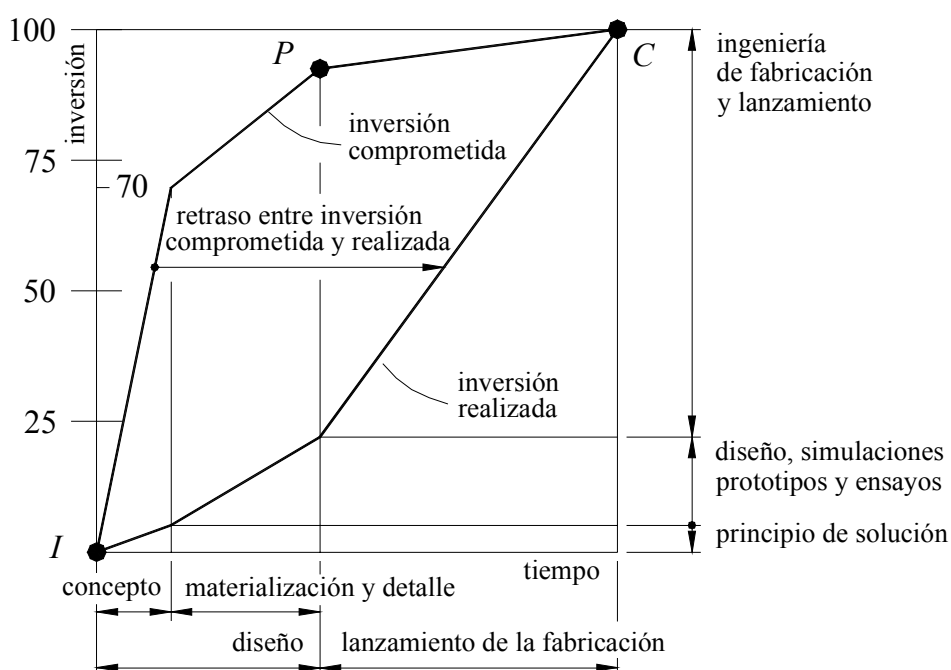


Figura 1.2. Relación entre costo comprometido e inversión realizada  
[adaptada de Riba, 2002]

Lo que propone la *ingeniería concurrente* es involucrar en las fases iniciales del proyecto los departamentos de marketing, producción, calidad y comercial, entre otros. Las empresas innovadoras buscan su implantación para disminuir el tiempo de desarrollo de los productos y a la vez mejorar la calidad de los productos.

## 1.4 Ciclo de vida de un producto

Es el conjunto de etapas que recorre un proyecto, entendido como una actividad de negocio (la fabricación de un producto o familia de productos, la implantación y prestación de un servicio exterior o interior, la construcción de un edificio o de una obra pública), desde que éste se inicia hasta que finaliza o es abandonado. Las etapas del ciclo de vida de un proyecto se recorren fundamentalmente en el seno de una organización e incluyen la evolución de la actividad o negocio a lo largo del tiempo.

A partir del análisis de varias arquitecturas de referencia para empresas o sus actividades (entre ellas: ARIS, Architektur fur Informations Systeme; PERA, Purdue Enterprise Reference

Architecture; CIMOSA, Computer Integrated Manufacturing – Open System Architecture; GRAI/GIM, Graphe Résultats et Activités Inter reliées/GRAI Integrated Methodology; IEM, Integrated Enterprise Modelling), el grupo IFIP-IFAC (International Federation of Information Processing / International Federation of Automatic Control) Task Force on Architectures for Enterprise Integration desarrolló el modelo GERAM (The Generalized Enterprise Reference Architecture and Methodology), base de la norma ISO 15704.

Este modelo aplica a las empresas o a cualquiera de sus entidades y, de forma específica, a sus proyectos (también es extrapolable a sus productos). La arquitectura de referencia de la empresa generalizada [GERA] considera las siguientes fases del ciclo de vida [IFIC-IFAC, 2003]:

Tabla 1.2. Fases del ciclo de vida de una entidad [según GERA]

Fase	Descripción
<i>Identificación</i>	Conjunto de actividades que identifica el contenido de la entidad particular en consideración (por ejemplo, un proyecto) en términos de sus fronteras y su relación con entornos externos e internos. Incluyen la identificación de la existencia y la naturaleza de la necesidad de esa entidad particular
<i>Concepto</i>	Conjunto de actividades necesarias para desarrollar los conceptos de la entidad. Incluyen la definición de su misión, visión, valores, estrategias, objetivos, conceptos operacionales, políticas, plan de negocios, entre otros
<i>Requerimientos</i>	Actividades necesarias para desarrollar descripciones de requerimientos operacionales de la entidad, sus procesos relevantes, y el conjunto de sus necesidades funcionales de comportamiento, de información y de capacidad
<i>Diseño</i>	Actividades que soportan la especificación de la entidad y de todos sus componentes con el fin de satisfacer sus requerimientos. Incluye tanto el diseño de todas las tareas humanas como las realizadas con máquinas para todos los productos y servicios de los clientes de la entidad y sus funciones de gestión y control
<i>Implementación</i>	Actividades que definen todas las tareas que deben llevarse a cabo para construir o reconstruir la entidad. Comprende la implementación de: a) Compras, configuración y desarrollo de medios para fabricación, servicios y control; b) Contrato y entrenamiento de personal y cambio de organización; c) Validación de componentes, integración de sistemas.
<i>Operación</i>	Actividades de la entidad necesarias para producir los productos o servicios a los clientes y que constituyen su misión, así como las correspondientes tareas de monitorizar, controlar y evaluar la producción.
<i>Fin de vida (decommissioning)</i>	Actividades necesarias para disolver, reorientar, rediseñar, reciclar, preservar, transferir, desensamblar, eliminar toda o parte de una entidad al final de su vida útil

[Riba, 2002] pone de manifiesto que el ciclo de vida de un proyecto, a diferencia del ciclo de vida de un producto, recorre todas sus etapas en el seno de una organización (o un conjunto de

organizaciones que constituyen la cadena de suministro) por lo que suele existir una adecuada contabilización de los recursos asociados.

De acuerdo con la evolución de las ventas, [Kotler, 2000] divide el ciclo de vida económico de un producto en las siguientes etapas: Introducción del Producto, Crecimiento, Madurez, Declive o Saturación (figura 1.3).

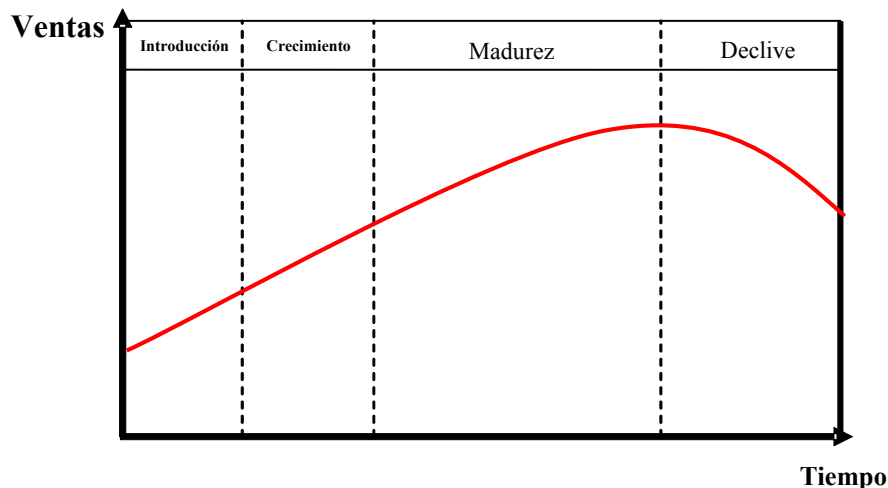


Figura 1.3. Ciclo de vida de proyecto de fabricación de producto  
[adaptada de Kotler, 2000]

Las principales características de cada una de las etapas de este ciclo económico son:

*Introducción del Producto:* Esta etapa también se denomina diseño, desarrollo y despegue del producto porque aquí se llevan a cabo actividades de I+D relacionadas con el producto y su diseño. En esta etapa las ventas son de bajo nivel, dado que se presenta el ajuste de la adaptación del producto al mercado.

*Crecimiento:* Se materializa la penetración del producto en el mercado y por un incremento en las ventas, igual por un incremento en la producción. Aquí entran competidores al mercado.

*Madurez:* En esta etapa se alcanza el nivel máximo de ventas y una estabilización en el crecimiento. Se dice que se alcanza la saturación del mercado.

*Declive:* Es la etapa en la que el producto entra en declive en el mercado. Aquí se debe orientar el producto a la renovación, actualización y adaptación a las nuevas corrientes.

Debe resaltarse la importancia en la relación del ciclo de vida económico del producto en la dirección estratégica de la organización.

## 1.5 Recursos para el ciclo de vida de un proyecto

El manejo de los recursos asociados al ciclo de vida de un proyecto es similar al del ciclo de vida de un producto. Sin embargo, dado que las etapas del ciclo de vida de los proyectos se recorren en el seno de una organización (o, en proyectos colaborativos, en varias organizaciones), la evaluación de los recursos asociados suele llevarse de forma detallada y completa ya que forma parte del negocio.

Es importante tener claro que en el desarrollo de un proyecto, se recuperan los recursos invertidos solo si el balance económico es positivo gracias a que las ventas compensan las inversiones acumuladas durante las etapas de desarrollo y lanzamiento del proyecto. De ahí la importancia de identificar rápidamente la oportunidad de desarrollo de un producto, para iniciar el proyecto lo antes posible y colocar el producto en el mínimo tiempo en el mercado a fin de comenzar a recuperar los gastos del proyecto cuanto antes.

En la figura 1.4 se destaca claramente los siguientes puntos significativos: 1. Lanzamiento al mercado. Punto que representa un hito importante en el análisis de los recursos de un proyecto ya que comienza la amortización de la inversión a través de los ingresos por comercialización de los productos (ventas – costes de fabricación); 2. Punto muerto. En este punto se ha recuperado exactamente la inversión de lanzamiento, y los ingresos están a la par con los gastos del proyecto; 3. Límite de retirada del Mercado. Es el punto límite a partir del cual la rentabilidad de las nuevas unidades de producto fabricadas se vuelve negativa a causa de su pérdida de rentabilidad (generalmente, las empresas suelen decidir antes su retirada efectiva). Entre el punto muerto y la retirada del producto se puede apreciar los beneficios del proyecto.

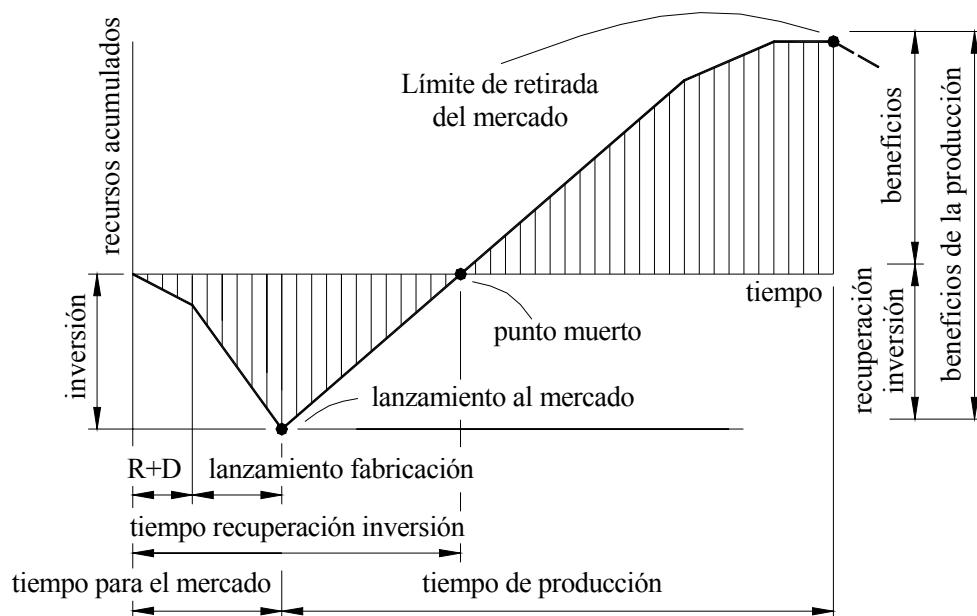


Figura 1.4. Puntos clave en la evolución de los recursos para el ciclo de vida de un proyecto [adaptado de Riba, 2002]

## 1.6 Ciclo de vida y comunicación sobre la pared

El sistema tradicional de organización por funciones se orienta a la toma jerárquica de decisiones y a la búsqueda de objetivos departamentales. Esto conlleva a que las organizaciones orienten sus procesos de una manera secuencial tanto para su ejecución como para su planeación. Es común encontrar que los proyectos avancen en forma lineal y la responsabilidad pase por diferentes departamentos sin coordinación efectiva. La dinámica del ciclo de vida tanto para el producto como para los proyectos se ve afectada por este enfoque secuencial.

Esta forma de proceder es lo que se conoce como "comunicación sobre la pared" o "salto del muro", donde la actividad en cada etapa del ciclo de vida se realiza sin tomar en consideración las necesidades de las restantes. Es decir, el diseño se desarrolla sin consultar las necesidades de



marketing ni las capacidades de producción; los ajustes en fabricación se desarrollan sin consulta a diseño ni a comercialización; el departamento comercial se encarga de forma aislada de la venta del producto o servicio; el departamento de postventa (y en la mayor parte de veces los usuarios) resuelven como pueden las incidencias derivadas de su uso y, por último, la colectividad carga con el reto de eliminar unos productos no concebidos para ello.

Con este enfoque, el proceso se desarrolla de forma secuencial, de tal manera que cada etapa no se inicia hasta que concluye la anterior. Esto trae consecuencias no deseables, donde los re-procesos abundan generando desperdicios de materiales y principalmente de tiempo que más tarde se traducen en costos impidiendo el cumplimiento de planes para proyectos tanto específicos como de toda la organización (figura 1.5).

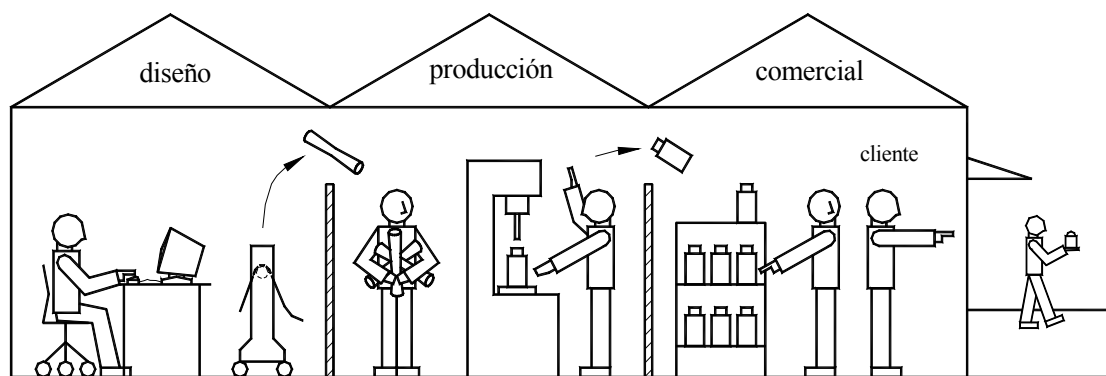


Figura 1.5. Comunicación sobre la pared, o salto del muro [Riba, 2002]

La Ingeniería Concurrente se basa en el *diseño para el ciclo de vida*, alternativa al enfoque clásico secuencial.

## 1.7 Conclusiones

Los productos y servicios son los principales resultados de las actividades humanas orientados a satisfacer sus necesidades. Las empresas y administraciones son entidades básicas en cuyo seno se desarrollan actividades para proveer productos y servicios los cuales son organizados en forma de proyectos.

Una nueva visión tanto de las actividades (proyectos, y las propias organizaciones) como de los resultados (productos, servicios) incide en el concepto de ciclo de vida, es decir la consideración global de todas las etapas que recorren estas entidades desde que son creadas hasta que terminan su vida útil.

La consideración del ciclo de vida y los recursos del ciclo de vida para las distintas entidades involucradas en los procesos productivos (productos y servicios; proyectos y las propias organizaciones), constituye una de las bases fundamentales en las que se apoya el nuevo concepto de ingeniería concurrente. Esta nueva perspectiva globalizadora es el punto de partida de metodologías más eficientes basadas en actividades colaborativas en el marco de organizaciones en red (empresa difusa, empresa extendida).

## 1.8 Referencias

- [Alting, 1994] Alting, L. (1994), Manufacturing Engineering Processes, 2nd revised and expanded edition.
- [Barba, E.] Barba, E. (1993), La excelencia en el proceso de desarrollo de nuevos productos, EADA Gestión, Barcelona, España.
- [Bernus y Nemes, 2003] Bernus, P.; Nemes, L. (2003), Introduction (capítulo 1), en Handbook of Enterprise Architecture (Bernus, P.; Nemes, L.; Schmidt, G., editores), Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Alemania
- [Capuz, 1999] Capuz, S. (1999) Introducción al Proyecto de Producción Ingeniería Concurrente para el diseño del Producto, AlfaOmega, Valencia, España.
- [Capuz y Gómez, 2002] Capuz, S., Gómez T. (2002), Ecodiseño: Ingeniería del Ciclo de Vida para el Desarrollo de Productos Sostenibles, Editorial UPV, Valencia, España.
- [CERG, 1999] CERG, Concurrent Engineering Research Group, (1999), Instituto Tecnológico de Monterrey ITESM. México.
- [IFIP-IFAC, 2003] IFIP-IFAC Task Force on Architectures for Enterprise Integration (2003), GERAM: The Generalized Enterprise Reference Architecture and Methodology (capítulo 2), en Handbook of Enterprise Architecture (Bernus, P.; Nemes, L.; Schmidt, G., editores), Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Alemania
- [Nevins y Whitney, 1989] Nevins, J.L, Whitney, D.E. (Editores) (1989), Concurrent Design of Product and Process, MacGraw Hill, New York.
- [Prasad, 1996] Prasad, B. (1996), Concurrent Engineering Wheels, The RASSP Digest. <http://rassp.scra.org>. Vol. 3, nº 1.
- [Prasad, 1997] Prasad, B. (1997), Concurrent Product Design, Development and Delivery (PD3) Process. Concurrent Engineering. Research and Applications. Vol. 5, nº3, pp. 198-201.
- [Riba, 2002] Riba, C. (2002), Diseño Concurrente, Edicions UPC, Barcelona, España.
- [Syam y Menon, 1994] Syam, C.S.; Menon, U. (1994), Concurrent engineering. Concepts, implementation and practice, Chapman & may, London, U.K.
- [Vila, 2000] Vila, C. (2000), Estrategias de implantación de nuevas tecnologías en el ámbito de la Ingeniería Concurrente, (tesis doctoral), Universitat de Jaume I, Castellón, España.

---

## 2 Evolución de los modelos del proceso de diseño

---

**Paola Farias, Joaquín Aca, Arturo Molina**

*Centro de Innovación en Diseño y Tecnología (CIDyT)*

*Tecnológico de Monterrey, México*

[paola.farias@mx.schneider-electric.com](mailto:paola.farias@mx.schneider-electric.com), [aca@itesm.mx](mailto:aca@itesm.mx), [armolina@itesm.mx](mailto:armolina@itesm.mx)

**Heriberto Maury**

*Grupo de investigación en Materiales, Procesos y Diseño (GIMYP)*

*Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia*

[hmaury@uninorte.edu.co](mailto:hmaury@uninorte.edu.co)

**Carles Riba**

*Centre de Disseny d'Equips Industrials (CDEI)*

*Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Barcelona, España*

[carles.riba@upc.edu](mailto:carles.riba@upc.edu)

*El éxito económico de las organizaciones depende de su habilidad para identificar las necesidades del mercado y desarrollar productos que cumplan con los requerimientos a bajo costo y en el menor tiempo. Para poder llevar a cabo de la manera más eficiente este proceso de desarrollo de los productos se han desarrollado diferentes modelos del proceso de diseño, es decir, mapas o representaciones de las fases de actividades que son necesarias para llevar a cabo la labor del diseño con sus interrelaciones. En este capítulo se realiza una revisión de los diferentes modelos del proceso de diseño y su evolución hacia modelos para el diseño concurrente. Su utilidad va desde sus aplicaciones en docencia hasta su importancia para poder realizar una planificación estructurada del proceso de desarrollo sin limitar los aspectos creativos, de manera que se dejen el mínimo o ningún factor al azar para dar una mayor garantía de éxito en su ejecución.*

### 2.1 Introducción

En la nueva economía global, las tendencias sugieren que la ventaja competitiva la tendrán aquellas compañías capaces de desarrollar productos rápidamente con alto enfoque al cliente. Las metodologías para el diseño y desarrollo de productos constituyen un marco flexible con el cual se encaminan los esfuerzos del equipo de diseño hacia la consecución de estos objetivos, brindándoles las herramientas de toma de decisiones y de evaluación; por tal razón, este capítulo tiene como finalidad el estudio de las metodologías de diseño y su evolución hacia los entornos de desarrollo concurrente y colaborativo muy adecuados a estos nuevos condicionantes del mercado.

En la siguiente sección de este capítulo se hace una revisión tanto de los modelos clásicos de diseño (modelos de etapas del proceso de diseño) como de algunos actuales, modelos del proceso de desarrollo, los cuales comprenden el diseño propio del producto, así como la planificación y el lanzamiento de las actividades de producción y comercialización; por lo tanto, los mismos entregan algunas de las primeras contribuciones para el diseño integrado de producto y proceso.

A continuación, en el tercer apartado se presenta una evaluación de acuerdo al contenido de los modelos, a partir de la cual se ha configurado un nuevo modelo para la integración de métodos y

herramientas en las actividades de diseño de nuevos productos, denominado modelo de referencia que comprende el desarrollo integrado de productos, procesos y sistemas de fabricación. Finalmente en el cuarto apartado se describe con detalle el modelo propuesto

## 2.2 Evolución de metodologías, técnicas y herramientas de diseño

La dinámica de los mercados actuales exige que los productos sean diseñados con un alto enfoque en los requerimientos del cliente con el objetivo de sostener o incrementar su posicionamiento en el mercado. En los modelos clásicos de diseño (modelos de etapas) los requerimientos se traducen en especificaciones del producto que representaran la base para la realización del diseño. Sin embargo, los ingenieros de diseño han observado la necesidad de contar con metodologías definidas que les faciliten este proceso. Como consecuencia se han desarrollado técnicas y herramientas genéricas que facilitan las tareas del equipo de diseño, por ejemplo, recolectar información [Revelle, 1998], generar conceptos [León, 2002] y evaluar diseños [Kochan, 1995].

Las primeras teorías de diseño surgen hacia el año 2500 AC en Egipto con el papiro de Eber, el cual se considera el primer manual de diseño para la elaboración de jabón. En la época moderna aparecen otras publicaciones relevantes en Inglaterra con Isaac Newton (1669) y en Alemania con Leonhard Euler (1753) y la primera aplicación de mecanismos Newtonianos a análisis de ingeniería. En EUA Miles (1947) desarrolla el método Análisis de Valor, y Zwicky (1948) desarrolla el Método Morfológico de Análisis y Construcción en el cual se considera la primera herramienta sistemática para la creatividad. De manera paralela en Rusia, Altshuller desarrolla la Teoría de Solución de Problemas de Inventiva [tomado de Otto y Wood, 2001].

El análisis de la literatura especializada permite distinguir dos tipos de modelos, cada uno de los cuales se aplica sobre un determinado ámbito y aporta una visión específica sobre una dimensión diferente de las actividades relacionadas con el diseño y el desarrollo de productos como de sus sistemas productivos:

- Modelo del ciclo básico de diseño: incluye las actividades básicas que se dan en todas las etapas o fases del proceso de diseño
- Modelos de etapas: tanto para el diseño (clásicos) como para el diseño mismo y otras etapas de desarrollo (modelos actuales)

### Modelo del ciclo básico de diseño

Forma específica del método general de resolución de problemas orientado a la resolución del problema de diseño. Es un ciclo fundamental que se puede aplicar de forma iterativa a distintas etapas (iniciales, intermedias o finales) del proceso de diseño. Existe una excelente descripción del ciclo básico de diseño en las obra de [Roozenburg & Eekels, 1991], así como en la de [Riba, 2002]. Las actividades que integran este ciclo básico son: análisis, síntesis, simulación y evaluación.

### Modelos de etapas

Actualmente existen una gran cantidad de metodologías para el diseño de productos. Sin embargo, en este capítulo haremos una revisión de las metodologías de diseño de ingeniería clásicas que han servido de referencia a las subsecuentes. Los modelos de diseño, sean clásicos o actuales, son una combinación de arte y ciencia. Algunos métodos científicos son usados para asegurar que el producto haga uso efectivo del espacio, los materiales, las interacciones entre las

partes y sobre todo, para apuntar al logro de todo lo anterior a un costo atractivo para los potenciales compradores.

El estudio citado se realiza en primer lugar para los modelos que se centran en el proceso de diseño (clásicos) y en segundo lugar, aquellos que incluyen otras etapas del proceso de desarrollo. Estos últimos se abordan en dos grupos los desarrollados en los centros de investigación y luego, los utilizados en las empresas como una particularización o adaptación de los mismos.

#### *Modelos de etapas del proceso de diseño (clásicos).*

Se agrupan aquí un conjunto de modelos clásicos que en su mayor parte comprenden solo el diseño del producto y establecen las etapas del problema a resolver y la secuencia más recomendable para llevarlas a término. Fundamentalmente se establecen las etapas de especificación, diseño conceptual, diseño de materialización y diseño de detalle. Esta aproximación la adoptan, entre otros, [Pahl & Beitz, 1977], [French, 1981], la norma de los ingenieros alemanes VDI 2221 entre otros.

Analizando las metodologías de diseño clásicas, tales como [Pahl & Beitz, 1977], [Pugh, 1991], [Ullman, 1992] y la guía alemana [VDI 2221/2222, 1973] a pesar de que las fronteras entre las fases es en general difusa y no todas ellas son abordadas de forma explícita por estas metodologías, podemos decir que globalmente pueden ser enmarcadas dentro de cuatro fases en el proceso de diseño, las cuales se definen a continuación (tabla 2.1):

- *Ideación.* En esta fase se hace una definición de las necesidades del mercado y se definen los requerimientos del producto. Actualmente estas actividades se realizan generalmente por áreas como mercadotecnia. También se realiza un plan detallado de trabajo que permite identificar la concurrencia entre las actividades.
- *Desarrollo Conceptual y Básico.* En la fase de Diseño Conceptual se desarrollan las alternativas de solución sobre el producto funcional. Para lograr esto, se realizan actividades de análisis que permiten comparar productos análogos o principios básicos que pueden ser de utilidad en el desarrollo del concepto; actividades de síntesis, que integran los principios o ideas para generar las alternativas conceptuales; y actividades de simulación y evaluación para estimar el comportamiento de las alternativas generadas y seleccionar las mejores. Según Pahl y Beitz (1977) así como de acuerdo con la guía alemana VDI 2221, en la etapa de Diseño Básico o de Materialización (Embodiment Design) se determina la estructura constructiva del producto o sistema, lo que significa definir la composición y organización de los módulos (o subensambles) y sus especificaciones para que a partir de ello se pueda proceder al diseño de detalle de las piezas o componentes [Riba, 2002]
- *Desarrollo Avanzado.* Involucra todas las actividades que ofrecen como resultado documentos de ingeniería detallados que son la base para la fabricación del producto; es importante anotar, que en muchos de los modelos clásicos esta etapa se denomina Diseño de Detalle.
- *Lanzamiento.* En esta fase se fabrican prototipos para evaluar el diseño e inclusive, se diseña el proceso de producción y se comienza con la manufactura del producto. Sólo algunos de los modelos clásicos estudiados como se aprecia en la tabla 2.1 abordan esta fase.

Tabla 2.1 Metodologías clásicas para el diseño del producto

FASE	Pahl y Beitz [1977]	Pugh [1991]	Ullman [1992]	VDI 2221/2222 [1973]
Ideación	Clarificación de la tarea	Mercado	Establecimiento de la necesidad	Clarificación de la tarea
		Especificación	Desarrollo / Planeación de las especificaciones	
Desarrollo Conceptual y Básico	Diseño conceptual	Diseño del concepto	Desarrollo de Conceptos	Diseño conceptual
	Diseño Básico o de Materialización			Diseño de forma
Desarrollo Avanzado	Diseño detallado	Diseño detallado	Diseño del producto	Diseño detallado
Lanzamiento	No considerada	Manufactura	Producción Servicio Retiro	No incluida
		Ventas		

La evolución de los requerimientos del mercado y el hecho de que las especificaciones de diseño se hicieran más estrictas, fueron el motor o causa de la evolución de las metodologías de diseño. Por lo tanto, una consecuencia de todo esto fue el poder representar los requerimientos de los clientes por medio de estándares que facilitaron la comunicación, a través del desarrollo de una tecnología capaz de modelar geometrías y propiedades de ingeniería lo que hasta hace pocos años era impensable. Del mismo modo, los procesos de manufactura evolucionaron permitiendo la fabricación de productos más complejos acordes con la diversidad de los usuarios y sus exigencias.

#### *Modelos de etapas del proceso de desarrollo.*

Como un resultado de la mayor complejidad de los problemas y considerando el hecho de que el éxito de un producto depende en gran medida de la administración del proceso de diseño (integración y organización del equipo de diseño, documentación, definición de los programas de trabajo y calendarios) se hizo imprescindible la creación de nuevas herramientas de apoyo para facilitar su solución y la estructuración de este proceso, siendo conveniente que a partir de las metodologías clásicas de diseño, iniciara una evolución a través de la integración de teorías como Ingeniería inversa y el Seis Sigma, es decir, esta evolución se ha concentrado en los métodos y herramientas que se emplean en el proceso de diseño.

Esta evolución tomó como base los modelos clásicos de diseño que sirvieron de referencia para que empezaran a desarrollar otros modelos que incluyeran otras etapas del desarrollo de productos. De hecho en este apartado se refiere a modelos que comprenden tanto el diseño del producto como la planificación de las actividades de producción y comercialización hasta el inicio de su fabricación e incluye etapas como el estudio de mercado, la planificación estratégica, el diseño del producto y del proceso, la fabricación de los medios de producción y el lanzamiento de la fabricación y la comercialización. Una de las primeras aproximaciones que fue adoptada, entre otras, es la [Archer, 1971] que desarrolló un modelo de etapas secuenciales para el diseño y desarrollo; mientras que algunos modelos actuales son más completos y ya incluyen matices concurrentes, se citan a continuación.

Autores como [Otto y Wood 2001] y [Yang y El-Haik 2003] han desarrollado modelos innovadores para el proceso de diseño. La diferencia entre los modelos clásicos con la metodología de [Otto y Word, 2001] se observa en la integración de herramientas que permiten ofrecer un valor agregado al producto. En el caso de [Yang y El-Haik, 2003], se integran también las etapas de DFSS (Design for Six Sigma) intentando crear una metodología de Diseño de Producto con un enfoque en teoría de calidad. Los resultados de este análisis se presentan en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Metodologías actuales de diseño de producto

FASE	Otto y Wood [2001]	Yang & El-Haik [2003]
Ideación	Ingeniería Inversa (Investigación, Predicción e Hipótesis).	Identificación de los requerimientos (I)
Desarrollo Conceptual y Básico	Modelado y Análisis (Modelos del diseño y Análisis del diseño).	Caracterización del diseño (C)
Desarrollo Avanzado		Optimización del diseño (O)
Lanzamiento	Rediseño (Paramétrico, Adaptativo y Original)	Validación del diseño. (V)

Considerando la diversificación de tecnologías en el mercado y tomando como base las disciplinas de ingeniería actuales, es posible dividir las metodologías de diseño de acuerdo al tipo de producto, es decir: mecánicos, eléctricos/electrónicos y software. De estas disciplinas surgen combinaciones como productos electromecánicos o mecatrónicos (integración de mecánica, electrónica y software). En consecuencia, surge como un reto para las nuevas metodologías la correcta integración de las metodologías para que puedan ser utilizadas en forma concurrente.

Además de las teorías de diseño mencionadas anteriormente, las empresas han definido sus propios procesos de desarrollo de productos en los cuales se enfatiza en los aspectos claves de cada compañía para su éxito en el mercado y en la naturaleza de sus productos. Estos modelos representan adaptaciones de las metodologías mencionadas anteriormente para un producto en específico, donde se da mayor importancia al aspecto de producción.

Analizando los Procesos de Desarrollo de Productos utilizados actualmente por las compañías es posible observar que sus metodologías pueden ser enmarcadas en la misma estructura de cuatro fases derivada del análisis de los modelos clásicos. La diferencia es la orientación particular de las mismas de acuerdo con las estrategias de cada negocio o con los enfoques de calidad existentes en la compañía. Los resultados de este análisis se presentan en la Tabla 2.3.

Todas estas metodologías analizadas forman parte de tres grupos de metodologías para el desarrollo de productos: clásicas, modernas y adaptaciones realizadas por algunas compañías. Para finalizar la sección se presentan los resultados de una evaluación de estas metodologías de acuerdo con los siguientes criterios (Tabla 2.4):

- *Alcance en el ciclo de diseño de productos.* Si la metodología cubre las 4 etapas de diseño de producto definidas (Ideación, Desarrollo Conceptual y Básico, Desarrollo Avanzado y Lanzamiento). Los símbolos usados en la tabla comparativa son: ( ) si la metodología no incluye la fase, (-★) si la metodología incluye la fase pero esta descrita pobremente y (★) si esta incluida y explicada ampliamente.

- *Actividades cubiertas.* Califica a las metodologías en función de si poseen o no actividades de Análisis, Síntesis y Evaluación. Los símbolos usados son: ( ) si la metodología no incluye esa actividad, (★) si esta incluida.
- *Descripción detallada de actividades.* El flujo de la información del producto, aspectos organizacionales y los métodos utilizados en cada fase. Los símbolos usados son: ( ) si la metodología no incluye ese aspecto, (-★) si lo incluye pero esta descrito pobremente, (★) si lo incluye y esta explicado, (★★) si lo incluye y esta explicado ampliamente.

Tabla 2.3 Metodologías de diseño en la industria

FASE	XEROX	MICROSOFT	FORD	SCHNEIDER ELECTRIC
<b>Tipo</b>	Diseño electro-mecánico	Diseño de Software	Diseño de ingeniería	Diseño de equipo eléctrico y de automatización
<b>Ideación</b>	Plan de ataque de mercado y tecnología	Especificación (Idea, Jugadores y Planeación)	Diseño del producto Diseño del proceso	Ideación
<b>Desarrollo Conceptual y Básico</b>	Definición del producto y tecnología entregable	Códigos (Desarrollo)		Desarrollo Conceptual y Básico
<b>Desarrollo Avanzado</b>	Diseño del producto	Estabilización (Pruebas)		Desarrollo Avanzado
<b>Lanzamiento</b>	Demostración y entrega del producto	Manufactura (Ventas y Soporte)	Aprobación Apariencia Disponibilidad Lanzamiento.	Piloto Producción
<b>Énfasis</b>	Uso de los métodos y herramientas		División de un producto complejo en subsistemas. Enfocado en DFM	Concepto de concurrencia

### *Modelo para el desarrollo integrado de productos, procesos y sistema de fabricación*

Finalmente en el tercer y cuarto apartados de esta sección del capítulo, se describe un nuevo modelo configurado a partir de los modelos previos y de los requerimientos no sólo para la integración del diseño de producto y del proceso, sino además para la integración del diseño del sistema de fabricación, lo que obviamente propicia el desarrollo concurrente y colaborativo. Dicho modelo fue desarrollado en el Centro de Sistemas Integrados de Manufactura del ITESM en Monterrey, México. Por otro lado, es importante anotar que existe un modelo genérico previo, de naturaleza algo semejante formulado por [Ulrich & Eppinger, 2003] en las universidades de Pensilvania y en el MIT, pero más limitado porque sólo se aborda la integración del diseño de producto y de proceso, pero no la del sistema de fabricación. El modelo de referencia desarrollado se describe en las secciones 3 y 4.



Tabla 2.4 Evaluación de metodología de diseño

Metodología	Área de Aplicación	Fases	Fases del ciclo de diseño de Productos Desarrolladas				Desarrollo de las actividades de Ingeniería			Descripción de:			
			Ideación	Desarrollo Conceptual	Desarrollo Avanzado	Lanzamiento	Análisis	Síntesis	Evaluación	Funciones / Actividades	Información del Producto	Aspectos Organizacionales	Métodos
PAHL Y BEITZ 1988	Diseño de Ingeniería	4	★	★			★	★		★	★	★	★
				★			★	★	★	★	★	★	★
				★			★	★	★	★	★	- ★	★
ULLMAN 1992	Diseño Mecánico	3	★	★			★	★	★	★	★	★	★
				★			★	★	★	★	★	★	★
				★			★	★	★	★	★	★	★
PRIEST 1988	Diseño de Ingeniería	5		- ★							★	★ ★	
				★							★	★	
				★					★		★	★	★
KMETOVICZ 1992	Desarrollo de Productos	5	★	★			★	★	★	★	★	★	
				★			★	★	★	★	★	★	
				★			★	★	★	★	★	★	
ICHIDA Design Review 1996	Desarrollo de Productos	-	★	★							★	★ ★	
				★							★	★	
				★							★	★	
KUSIAK A 1999	Diseño de Ingeniería	5										★ ★	★
			★	★			★	★	★			★	★
				★			★	★	★		★	★	
OTTO Y WOOD 2001	Proceso Genérico de Diseño	3		★			★	★	★	★	★	- ★	★ ★
				★			★	★	★	★	★	- ★	★ ★
				★			★	★	★	★	★		★ ★
				★			★	★	★	★	★		★ ★
YANG EL-HAIK 2003	Desarrollo de Productos	4		★			★	★	★	★	★	★	★
				★			★	★	★	★	★		★
				★			★	★	★	★	★	★	★
				★			★	★	★	★	★		★
FARIAS 2003	Proceso Genérico de Diseño	4		★			★	★	★	★	★	★	★ ★
				★			★	★	★	★	★	★	★ ★
				★			★	★	★	★	★	★	★ ★
				★			★	★	★	★	★	★	★ ★

### 2.3 Integración de las herramientas y métodos en el proceso de desarrollo de productos

El diseño de un producto es un proceso cuya extensión temporal varia dependiendo de la complejidad del producto, sin embargo, al seguir una metodología, este proceso puede ser acortado en tiempo, dado que la información puede recolectarse y gestionarse de una manera más organizada sin sacrificar el cumplimiento de los requerimientos del cliente.

El desarrollo de productos puede ser visto como un proceso de transformación de información, donde se parte de información importante recolectada, y se obtienen algunas conclusiones o definiciones a partir de dicha información. En este proceso, el diseñador tiene la responsabilidad de definir correcta y claramente los parámetros, características, atributos y toda la información que será útil en la definición del producto. Esto se da en las primeras actividades del proceso de desarrollo del producto, para obtener todas las especificaciones del producto a ser diseñado, las cuales deben estar claramente establecidas y entendidas por todos los miembros del equipo de diseño. Posteriormente, actividades creativas se desarrollan en el proceso, para proponer una geometría detallada acorde con las restricciones, con el material adecuado, y con ciertos aspectos que resultan relevantes para el proceso de producción. Estas actividades que se dan en todas las fases del proceso de diseño de productos, y que constituyen el ciclo básico de diseño [Riba, 2002], pueden clasificarse en tres grandes grupos:

- Actividades de Análisis: representan la descomposición de algo complejo en sus elementos, el estudio de estos elementos y sus interrelaciones. Las acciones que lo definen son: identificación, definición, estructuración y ordenamiento.
- Actividades de Síntesis: representan la unión de elementos para producir nuevos efectos y demostrar que tales efectos crean un nuevo orden. Involucran la investigación y el descubrimiento, la composición y la combinación. Una característica esencial de todo diseño es la combinación de descubrimientos individuales o subsoluciones en un sistema funcional completo, es decir, la asociación de componentes para formar un todo. Aquí también debe procesarse la información recolectada durante las actividades de análisis.
- Actividades de Evaluación: representan la fase de definición en el problema o proceso de diseño que se está resolviendo. Las combinaciones o composiciones definidas en las actividades previas deben ser evaluadas para elegir aquella que satisfaga de mejor manera el patrón de desempeño deseado en la solución y definido por los requerimientos; así como estas permiten definir las acciones correctivas a través del uso de algunas técnicas y métodos. Los insumos para las actividades de evaluación pueden ser obtenidos a partir de actividades previas de simulación.

Para llevar a cabo estas actividades existe un gran número de métodos y herramientas que aportan valor agregado, por lo tanto, resulta conveniente clasificar algunos de los métodos útiles para cada fase y actividad de acuerdo con su empleo a lo largo de las cuatro fases de diseño ya establecidas. Estos métodos deben ser seleccionados y adaptados a las necesidades del diseñador dependiendo del tipo de producto y de los resultados deseados.

Tabla 2.5 Clasificación de Métodos y Herramientas de soporte al proceso de diseño

	<b>Análisis</b>	<b>Síntesis</b>	<b>Evaluación</b>
<b>Ideación</b>	Curva S del producto Análisis competitivo Entrevistas al cliente Focus Group Cuestionamientos técnicos Cuestionarios contextuales Análisis de Usuario Líder Técnica Delphi, Etnografía del producto, JAD (Joint Application Design)	Lluvia de ideas Perfil del usuario Sesiones de creatividad Modelo Klein	Evaluación de Riesgos Tablas de Pugh VOA (Análisis de Oportunidad de Valor), Inteligencia Competitiva
<b>Desarrollo Conceptual y Básico</b>	Contextual inquiry TRIZ, Modelo de Kano Diagramas de Afinidad Sesiones de Creatividad Descomposición Funcional Diagramas de Análisis, Diagramas de clase, (UML)	Lluvia de ideas, Osborn's checklist QFD Cartas morfológicas Matriz de síntesis IDEF0 Diagramas entidad-relación (ERD), Diagramas de flujo de datos (DFD), Casos de Uso Diagramas de Robustez	Evaluación de concepto (exploratory, assessment, validation, comparison) Ponderación y ranking Idea log Estudios Trade-Off Convergencia controlada VOA (Value Opportunity Analysis)
<b>Desarrollo Avanzado</b>	Prototipos rápidos	Lluvia de ideas TRIZ Diagramas de restricciones espaciales, Matriz morfológica, Modeladores de sólidos, TRIZ Modularidad Diseño de Experimentos Diagramas de secuencia Diagramas de colaboración	Análisis de ingeniería de valor Diseño Axiomático, AMEF Modelos matemáticos, Análisis de Tolerancias, DFM , DFA, DFX CAE Cálculos de eficiencia en el diseño Códigos de análisis
<b>Lanzamiento</b>	Prototipos rápidos	Modeladores conceptuales	Tablas de Pugh DOE

### Modelo integral de Desarrollo de Productos

Se ha desarrollado un modelo integral de DP con actividades definidas para cada una de las cuatro fases, el cual, incluye algunos métodos que son considerados básicos para el diseño sin importar el tipo de producto. Se han clasificado los productos en tres categorías: mecánicos, eléctricos-electrónicos y de software. En este modelo pueden identificarse las actividades según sean de análisis, síntesis y evaluación, lo que permite dirigir el razonamiento de los diseñadores con base en las actividades del ciclo básico de diseño.

Este modelo especialmente para la fase de Desarrollo Conceptual y Básico posee actividades con objetivos idénticos pero con resultados ligeramente diferentes de acuerdo con el tipo de producto que se este desarrollando. Mientras que en las fases de Desarrollo Avanzado y Lanzamiento los métodos y herramientas son necesariamente diferentes debido a lo complejo que resulta el sintetizar y evaluar productos con características tan distintas. Por lo tanto, a medida que los productos se vuelven más complejos se requiere profundizar en el conocimiento de ciertas áreas especializadas y desarrollar herramientas potentes pero con una reducida área de aplicación.

Seria imposible definir un modelo con métodos y herramientas que pudiera satisfacer el Proceso de Desarrollo para todos los productos, a menos que este incluyera todas las herramientas posibles, dentro de las cuales algunas pueden tener objetivos que pueden ir en contravía; por esta razón, un modelo de referencia debe indicar las actividades que deben realizarse, mencionando sólo los métodos básicos en el Proceso de Desarrollo, pero a la vez permitiendo la selección e integración de métodos especializados que nos apoyen a lograr el objetivo de cada fase de diseño.

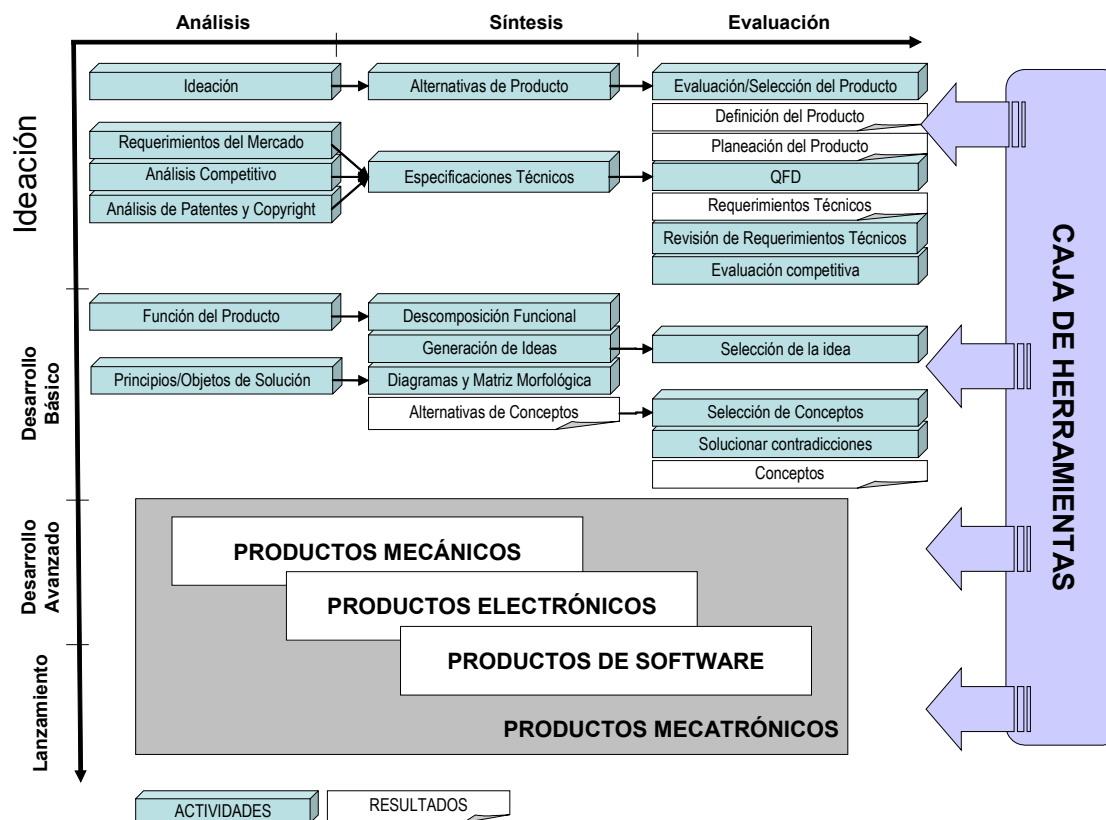


Figura 2.1 Modelo Integral de Desarrollo de Productos

### Problemas típicos en el uso de metodologías de diseño

Algunos de los problemas que se suscitan al usar metodologías se deben a que las mejores metodologías pierden impacto cuando no son usadas efectiva y eficientemente. Generalmente, esta insuficiencia es el resultado del uso de demasiadas o del mal empleo de las herramientas.

Existen gran variedad de soluciones, prácticas, métodos y herramientas que han sido desarrollados para resolver problemas o mejorar la efectividad y eficiencia en el desarrollo de productos. La

dificultad está en seleccionar e implementar la combinación correcta de soluciones y medios que mejor se ajusten a un problema particular de desarrollo de producto considerando sus inconvenientes, restricciones, propósitos, procesos, organización, productos y contextos específicos. Algunas de las razones por las cuales la combinación elegida de metodologías no es exitosa son las siguientes:

- *Elección incorrecta de métodos y herramientas.* Aun cuando los métodos que soportan el proceso de diseño pueden llamarse genéricos, se han desarrollado para ser aplicados a problemas específicos; por lo tanto, deben utilizarse en un contexto adecuado.
- *Promoción.* Estas herramientas deben ser promovidas por la administración pero deben ser ajustadas a las necesidades del usuario e incluidas en su entorno laboral.
- *Orientadas al Usuario.* Estos métodos se aprenden utilizándolos, por lo tanto, deben ser ajustados a la situación específica de cada compañía.
- *Trabajo extra.* Algunas herramientas son vistas como “requisito” y no como soporte real para la ejecución de sus actividades ya que implican un cambio en los hábitos del diseñador.
- *Gran cantidad.* Es mejor tener pocas herramientas bien conocidas y utilizadas que muchas que no son utilizadas o mal utilizadas.

Es evidente la necesidad de las actividades genéricas como las de análisis, síntesis, simulación y evaluación en cada fase del Proceso de Desarrollo de Productos para dirigir el razonamiento y los esfuerzos del equipo de diseño al logro de los objetivos; pero a la par es necesario e importante el definir los métodos y herramientas a considerar que permitan lograr un desarrollo eficiente, eficaz e integral; y que en sí mismos, constituyan un modelo de referencia para el desarrollo integral de productos. Del mismo modo, es un requisito inexorable que la arquitectura de dicho modelo, deba permitir la adecuación o la configuración de las metodologías en concordancia con la situación particular de cada organización.

## 2.4 Desarrollo integrado de producto, proceso y sistema de fabricación

En esta sección se propone un Modelo de Referencia a partir del cual es posible la configuración de modelos particulares para su implantación en las organizaciones con el fin de posibilitar la integración de los procesos de desarrollo de producto, procesos y sistemas de fabricación, con independencia del sector industrial a que pertenezca la organización, pero enfocándose sobre aspectos específicos de la misma, como sus oportunidades de mercado, conocimientos, restricciones tecnológicas y objetivos comerciales.

### El concepto de Desarrollo Integrado de Producto y Proceso

El Desarrollo Integrado de Producto y Proceso (DIPP) es un reto que implica la gestión, integración y optimización de las actividades de diseño, manufactura y mantenimiento de un producto, a través del uso de equipos multidisciplinarios [OUSD 1998].

Antes de explicar el Modelo de Referencia es necesario definir su alcance dentro del Ciclo de Vida del Producto. En este sentido, el Modelo de Referencia se centra en las actividades de ingeniería incluyendo tres ejes como se aprecia en la figura 2.2:

- Procesos los que se dan durante el desarrollo de un proyecto de ingeniería, ya sea para: Desarrollo de Producto, Desarrollo del Proceso y Desarrollo del Sistema de Fabricación.

- Etapas son estados o fases asociadas al nivel de evolución de los procesos: Ideación, Desarrollo conceptual y Básico, Desarrollo Avanzado y Lanzamiento.
- Entregables (Tollgates) son resultados específicos obtenidos al final de cada etapa para un proceso dado, por ejemplo, los documentos de Diseño Detallado son entregables (tollgates) de la etapa de Desarrollo Avanzado en el Proceso de Desarrollo del Producto.

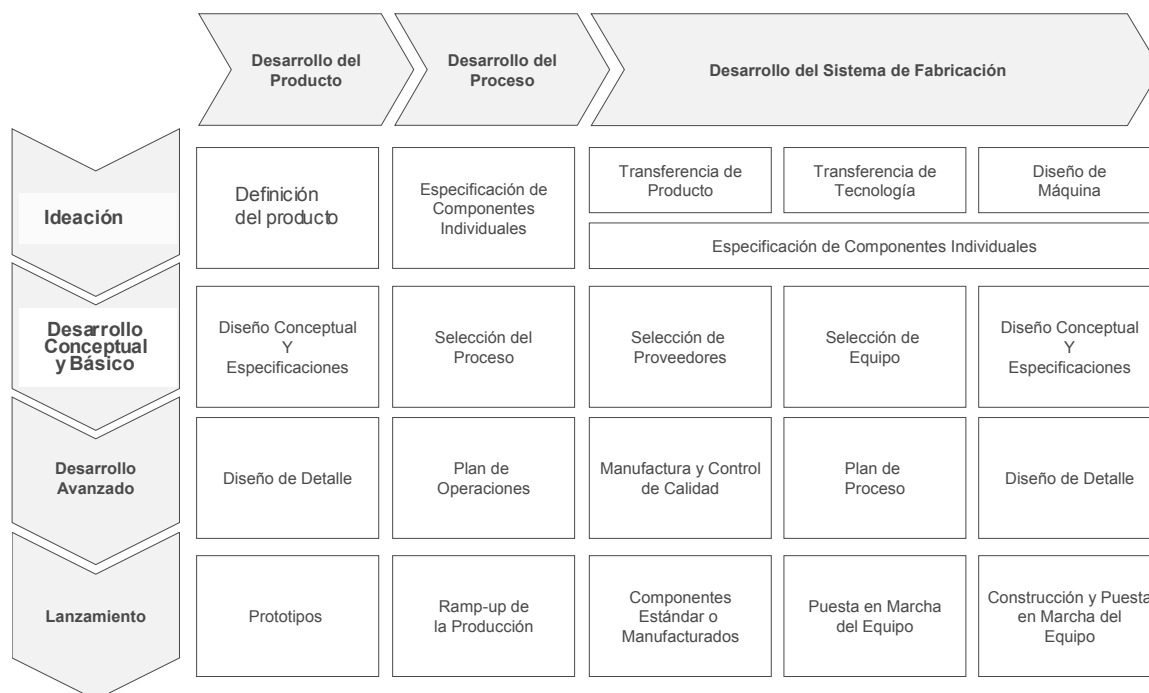


Figura 2.2 Representación de las etapas de ingeniería en el Ciclo de Vida del Producto

El Desarrollo del Sistema de Fabricación puede involucrar o combinar tres subprocesos diferentes: (a) Transferencia de Producto: cuando el componente es una parte estándar o es manufacturado a través de un proceso convencional para el cual hay un proveedor disponible que cumple con los requerimientos de calidad, costo y tiempo de entrega; (b) Transferencia de Tecnología: cuando el componente debe ser manufacturado por un proceso convencional para el que se cuenta con un proveedor adecuado de la tecnología, siendo necesario desarrollar el proceso de manufactura utilizando esta tecnología disponible; y (c) Desarrollo de máquinas y equipamientos: cuando el componente a ser manufacturado no es estándar y exige para su fabricación el uso de tecnologías no convencionales que no están disponibles, y por lo tanto, es necesario desarrollar un nuevo equipamiento para fabricar el componente.

Basados en la definición previa, se han desarrollado múltiples metodologías para la implementación de conceptos de DIPP, entre otros: [Lee et. al. 2003], [Mervyn et. al. 2003], [Yan and Zhou 2003], [Song et. al. 2001] y [Swink et. al. 1996]. Sin embargo, estas metodologías presentan las siguientes deficiencias: (a) Aunque Proponen métodos y herramientas para soportar el DIPP, en cuanto a nivel de integración de métodos y herramientas se limitan a: intercambio de información entre Etapas y Procesos o intercambio de información entre Procesos únicamente para algunas etapas específicas; y (b) La ausencia de capacidad para que la metodología integre métodos y herramientas a lo largo de todos los Procesos y Etapas del Ciclo de Vida del Producto. Por lo

tanto, se ha propuesto un Modelo de Referencia [Aca 2004] que cumple con estas características y se describe completamente en la siguiente sección.

### Definición del Modelo de Referencia y Configuración del Modelo Particular

El Modelo de Referencia para el Desarrollo Integrado de Producto, Proceso y Sistema de Fabricación (DIPPF) propuesto, constituye una representación completa de las etapas de ingeniería llevadas a cabo dentro del Ciclo de Vida del Producto. El Modelo de Referencia propuesto se describe a través de tres ejes (figura 2.2): (a) Procesos: Desarrollo de Producto, Proceso y Sistema de Fabricación; (b) Etapas: Ideación, Desarrollo conceptual y Básico, Desarrollo Avanzado y Lanzamiento; y (c) Actividades: tareas específicas que deben ser ejecutadas para completar una etapa.

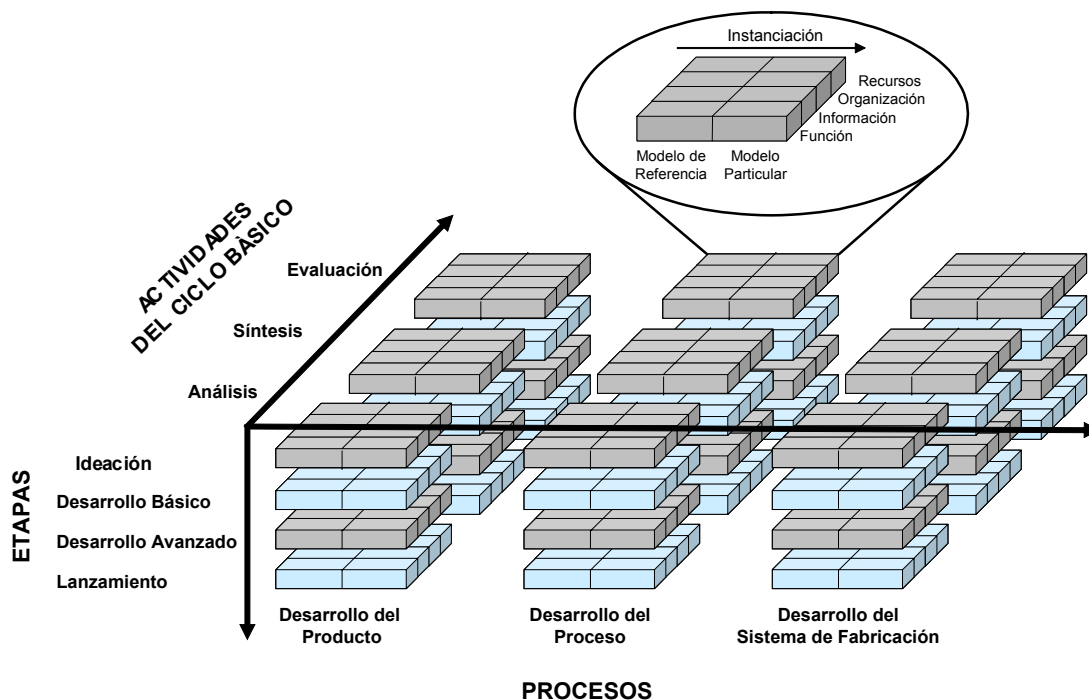


Figura 2.3 Modelo de Referencia para el Desarrollo Integrado de Producto, Proceso y Sistema de Fabricación (DIPPF)

Las propiedades del Modelo de Referencia son:

- *Configurabilidad:* capacidad de ser configurado en Modelos Particulares para conseguir una meta específica dentro del Ciclo de Vida del Producto, tomando en cuenta aspectos de las compañías, tales como: mercado, conocimiento y tecnología.
- *Robustez:* debido a que esta basado en una librería de métodos y herramientas comprobados para garantizar el flujo de información entre las etapas del proceso de desarrollo facilitando la colaboración entre ingenieros de diseño y manufactura.
- *Integración:* capacidad para adoptar nuevos métodos y herramientas de diferentes disciplinas (por ejemplo: mecánica, informática) e integrarlas permitiendo configurar Modelos Particulares para diferentes industrias.

Un Modelo Particular se define como la instanciación del Modelo de Referencia y es construido utilizando tanto actividades como bloques básicos o unidades de construcción. Dentro de este modelo, las actividades deben ser modeladas de acuerdo a cuatro puntos de vista complementarios [Vernadat 1996]: (a) Función: representa a las funciones de la empresa y su comportamiento; (b) Información: representa a los objetos de la empresa y sus elementos; (c) Recursos: representa los medios de la empresa, sus capacidades y su administración; y (d) Organización: representa los niveles de organización, autoridad y responsabilidad dentro de la compañía.

Para que los conceptos de DIPPF sean implementados en una compañía, es necesario configurar el Modelo Particular a partir de la Arquitectura básica del Modelo de Referencia. El Modelo Particular es un conjunto de actividades que representa el desarrollo de productos, procesos y sistemas de fabricación dentro de la compañía. La configuración del Modelo Particular se realiza en tres fases:

- *Fases I* – Definición del Proyecto: durante esta fase se identifican los requerimientos de la compañía y se define el alcance del proyecto de acuerdo a la representación propuesta del Ciclo de Vida del Producto.
- *Fase II* – Definición de Secuencia de Actividades: una vez que el proyecto ha sido definido, el Modelo de Referencia debe ser desglosado en Actividades para evaluar cada una de ellas y seleccionar aquellas que serán ejecutadas para cumplir con los requerimientos de la compañía.
- *Fase III* – Mapeo de la Secuencia de Actividades: una vez que las actividades han sido seleccionadas es necesario trasladar cada uno de los puntos que describen a las actividades (Función, Información, Recursos y Organización) del dominio del Modelo de Referencia al dominio del Modelo Particular.

## 2.5. Conclusiones

Aunque existe una vasta literatura sobre los modelos del proceso de diseño, este documento es valioso porque aporta una revisión de la evolución de los modelos clásicos del proceso de diseño hacia modelos de referencia para el desarrollo integrado de producto (Producto, proceso y sistema de fabricación).

En el documento se describe con detalle un modelo de referencia genérico para el desarrollo de producto: El cual puede ser configurado y particularizado según las necesidades específicas de cada organización, considerando las herramientas y los métodos que más le convengan según la actividad, en tres escenarios de desarrollo diseño de producto, de proceso y de sistema de fabricación.

Del mismo modo, se muestra el acoplamiento entre los modelos del proceso de diseño y las teorías de calidad. Finalmente en este último apartado, se plantea la factibilidad de complementar el modelo de referencia, considerando la integración de las fases de planificación de productos y de comercialización para cubrir todas las actividades relacionadas con el desarrollo de productos al interior de una organización.



## 2.6 Agradecimientos

Los autores agradecen a la Cátedra de Investigación en Mecatrónica del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey - Campus Monterrey por su apoyo en la redacción de este capítulo.

## 2.7 Referencias

- [French, 1981] French, M., 1981, "Engineering Design, The conceptual Stage", London: Heneiman
- [Kochan, 1995] Kochan, D., 1995, Intelligent production technology future-oriented vision or industrial reality, Computers in Industry, Volume 28, Issue 1, Pages 3-10
- [León, 2002] Leon, N., 2002, "A Proposal to Integrate TRIZ into the Product Design Process", The TRIZ Journal, November 2002
- [Lee et. al., 2003] Lee, R. S., Tsai, J. P., Kao, C. I. and Fane, K. C., 2003, "STEP-based product modeling system for remote collaborative reverse engineering", Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Volume 19, Issue 6, Pages 543-553.
- [Mervyn et. al., 2003] Mervyn, F., Senthil Kumar, A., Bok, S. and Nee, A. Y. C, 2003, "Developing distributed applications for integrated product and process design", Computer Aided Design, Article in Press.
- [Otto y Wood, 2001] Otto, K. and Wood, K., 2001, Product Design: Techniques in Reverse Engineering and New Product Development, New Jersey: Prentice Hall
- [OUSD, 1998] OUSD, 1998, "DoD Integrated Product and Process Development Handbook", Office of the Under Secretary of Defense (OUSD), Washington, DC - 20301-3000, August 1998.
- [Pahl y Beitz, 1977] Pahl, G., Beitz W. 1977, Engineering design: a systematic approach, New York: Springer Verlag
- [Pugh, 1991] Pugh, Stuart, 1991, Total design: integrated methods for successful product engineering, Wokingham: Addison-Wesley
- [Revelle, 1998] Revelle, J.B., Moran, J.W. and Cox C.A., 1998, "The QFD Handbook", New York: John Wiley & Sons
- [Riba, 2002] Riba, Carles, 2002, "Diseño Concurrente", Barcelona: Edicions UPC
- [Roozenburg, 1995] Roozenburg & Eekels Product Design: Fundamentals and Methods, John Wiley & Sons
- [Song et. al., 2001] Song, P., Tang, M. and Dong J. 2001, "Collaborative model for concurrent product design", IEEE Sixth International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design, 12-14 July 2001, Pages 212 -217.
- [Swink et. al., 1996] Swink, M., Sandving, J.C. and Mabert, V., 1996, "Customizing Concurrent Engineering Processes: Five Case Studies", Journal of Production and Innovation Management, Volume 13, Pages 229-244.

- [Ullman, 1992] Ullman, David G, 1992, The mechanical design process, New York: McGraw-Hill International
- [Ulrich y Eppinger, 2003] Ulrich, K., and Eppinger S., 2003, “Product Design and Development”, New York: Mc Graw Hill International.
- [VDI 2221/2222, 1973] VDI: VDI Richtlinie 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte.
- [Vernadat, 1996] Vernadat, 1996, “Enterprise Modeling and Integration”, Chapman & Hall, London, 1996.
- [Yan y Zhou, 2003] Yan, P. and Zhou, M, 2003, “A life cycle engineering approach to development of flexible manufacturing systems”, IEEE Transactions on Robotics and Automation, Volume 19, Issue 3, June 2003, Pages 465 – 473.
- [Yang y El-Haik 2003] Yang, El-Haik, 2003, Design for Six Sigma: A Roadmap for Product Development, USA: Mc Graw Hill

---

## 3 Familia, portafolio y gama de productos

---

**Carles Riba, Sònia Llorens, Judit Coll**

*Centre de disseny d'Equips Industrials (CDEI)*

*Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Barcelona, España*

[carles.riba@upc.edu](mailto:carles.riba@upc.edu), [llorens@cdei.upc.edu](mailto:llorens@cdei.upc.edu), [coll@cdei.upc.edu](mailto:coll@cdei.upc.edu)

**Heriberto Maury**

*Grupo de investigación en Materiales, Procesos y Diseño (GIMYP)*

*Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia*

[hmaury@uninorte.edu.co](mailto:hmaury@uninorte.edu.co),

*El primer objeto de este capítulo es describir los conceptos de familia, portafolio y gama de productos como tipos de agrupaciones de productos que conviven e interaccionan en un mismo momento (dimensión sincrónica).*

*En los últimos años, en la literatura especializada en diseño y desarrollo de productos aparecen con cierta frecuencia los conceptos de familia de productos y de portafolio de productos, a menudo confundiendo uno con otro. En el texto se hace una distinción entre estos conceptos en base a diferenciar las etapas de origen (u originación) y las etapas de destino (o destinación) de un producto.*

*Este nuevo marco de referencia lleva a la extensión de los conceptos de familia y de portafolio en otro concepto más amplio, la gama de productos, que tiene un indudable interés en la concepción y planificación de los productos que conviven e interaccionan en el ámbito de una actividad, más allá de los fabricados por una empresa. La gama de producto constituye una perspectiva altamente innovadora para el diseño del portafolio de producto de una empresa.*

*El capítulo termina con unos ejemplos sobre el planteamiento de la gama de producto en dos campos de actividad (la lavandería para colectividades, y la fotografía digital) para finalizar con unas conclusiones.*

### 3.1 Introducción

En los últimos años, la ingeniería concurrente ha venido poniendo el énfasis en el punto de vista del ciclo de vida (dimensión diacrónica, a lo largo del tiempo) de los productos o sistemas. Esta perspectiva propugna que la concepción y el diseño de un producto o sistema que no se limite simplemente a dar respuesta a los requerimientos de su función principal durante su uso (para el que ha sido creado) sino también a los requerimientos de las restantes etapas de su ciclo de vida (desarrollo, fabricación, distribución, transporte, comercialización, mantenimiento y fin de vida).

Sin embargo, raramente un producto se origina como elemento singular y, mucho menos, se utiliza de forma aislada de otros productos. Por lo tanto hay una segunda perspectiva en la concepción y diseño de un producto que se centra en su interacción con otros productos (dimensión sincrónica, en un mismo momento), la cual puede proporcionar el doble beneficio de optimizar los costes de producción y de facilitar lo mejor posible su adaptación a las necesidades de los distintos usuarios y clientes durante su utilización.

La preocupación por las interrelaciones entre los productos (la irrupción de la dimensión sincrónica es más reciente que la introducción de la dimensión diacrónica, o de ciclo de vida) va

tomando rápidamente mayor relevancia en los medios industriales y económicos, a la vez que cada día se convierte más en objeto de análisis, de estudios y de propuestas en los ámbitos científicos y académicos.

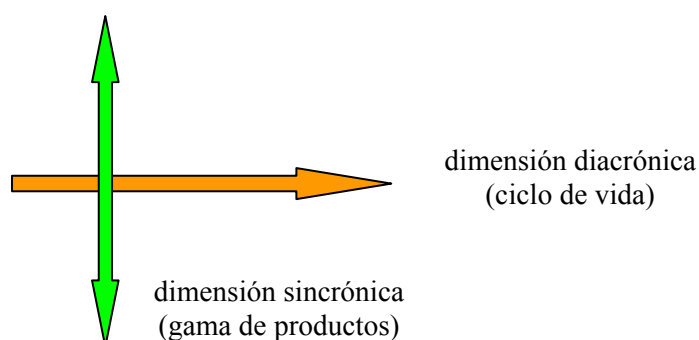


Figura 3.1. Dimensiones sincrónica y diacrónica para un producto

### Ejemplo de las dos dimensiones:

#### Productos que intervienen en una cocina doméstica

Cada vez más, los futuros usuarios de una cocina doméstica suelen buscar una solución integral y completa en cuya articulación intervienen distintos agentes.

Por un lado, están los industriales que proporcionan (fabrican, instalan, montan) los elementos del sistema (por ejemplo: calentador de agua, instalación de gas, muebles modulares de cocina). La progresiva introducción de buenas prácticas de diseño desde la perspectiva del ciclo de vida (dimensión diacrónica), han ido mejorando estos productos de estas empresas. Más recientemente, también se ha ido prestando atención en estructurar el diseño de la variedad de productos que requiere el mercado a fin de ahorrar costes de fabricación (dimensión sincrónica, en el ámbito de la empresa). El objetivo principal de estos industriales es procurar la mayor rentabilidad de sus productos.

Por un lado, existe el configurador (diseñador, instalador) que coordina e integra los distintos sistemas: equipos (cocina, horno, nevera, lavadora, secadora, lavavajillas, calentador de agua, microondas); instalaciones (suministros de agua fría y agua caliente, de corriente eléctrica, de gas, desagües, aireación y, recientemente, dispositivos domóticos de gestión y control); y muebles y armarios (accesibles, agradables, con buena capacidad). El objetivo principal del configurador es obtener el comportamiento óptimo y la mayor rentabilidad del sistema (dimensión sincrónica en el ámbito de la actividad: cocina doméstica).

Ello muestra que la dimensión sincrónica de los productos que conviven en un mismo entorno y en un mismo momento es tan relevante como la dimensión diacrónica que contempla las distintas etapas del ciclo de vida de cada uno de ellos.

## 3.2 Agrupaciones de productos (dimensión sincrónica)

### Antecedentes

Ya en 1990, Henderson y Clark pusieron de manifiesto el impacto económico potencial a que puede dar lugar la elección de una apropiada arquitectura de producto. En años más recientes, numerosos autores han constatado la importancia y las consecuencias de considerar varios

productos de forma simultánea a fin de obtener ventajas tanto en su fabricación como en su utilización ([Meyer y Utterback, 1993]; [Meyer y Lehnerd, 1997]; [Elgaard y Millar, 1998]; [Robertson y Ulrich, 1998]; [Otto y Wood, 2001], entre otros).

En la literatura sobre desarrollo de productos aparecen varios términos para designar agrupaciones de productos relacionados entre sí, entre los que destacan el de *familia de productos* (*product family*), estrechamente ligada con el concepto de *plataforma*, y el de *portafolio de productos* (*product portfolio*) relacionado con la oferta de una empresa. A continuación se comentan las visiones de [Meyer y Lehnerd, 1997] y de [Otto y Wood, 2001] sobre este tema.

En su libro de 1997, Meyer y Lehnerd constatan que, si se diseñan los productos uno a uno, los métodos tradicionales de gestión fallan a largo plazo por no considerar la *comunalidad*, la *compatibilidad*, la *estandarización* y la *modularidad*. Para ello proponen desarrollar *familias de productos* enteras para abastecer un segmento de mercado uniendo los esfuerzos de los distintos equipos de diseño y en base a tecnologías y procesos comunes. Para desarrollar esta perspectiva, Meyer y Lehnerd definen la *plataforma de producto* como un conjunto de subsistemas e interfases que forma una estructura común de la cual pueden derivarse un flujo de productos desarrollados y producidos de forma eficiente.

Más adelante, [Otto y Wood, 2001] ofrecen una conceptualización más amplia de las agrupaciones de productos relacionados. Definen el *portafolio de productos* como el conjunto de productos distintos que ofrece una empresa y la *arquitectura del portafolio de productos* como la estrategia para disponer de componentes y sistemas relacionados con múltiples productos para satisfacer lo mejor posible las necesidades actuales y futuras del mercado.

[Otto y Wood, 2001], en base a varios trabajos publicados anteriormente ([Yu et al., 1998], [Zamirowski y Otto, 1999]; [Gonzalez-Zugasti y Otto, 2000], [Dahmus et al., 2000] y tomando como perspectiva los objetivos básicos de una corporación (los costes y los ingresos), definen y exploran los siguientes conceptos: *Arquitectura de portafolio de productos únicos* (*Fixed Unsharing Portfolio Architecture*), donde cada producto es único y no comparte componentes ni subsistemas con los restantes productos del portafolio (Ejemplo: portafolio de destornilladores); *Arquitectura de portafolio de plataformas* (*Platform Portfolio Architecture*), formada por productos que comparten componentes, módulos y subsistemas (dentro de ella, las *familias de productos modulares*, las *generaciones de productos modulares*, las *plataformas escalables*, las *plataformas consumibles*, las *plataformas estándar o normalizadas*, y el *ajuste para la venta*); *Personalización de productos* (*Mass Customization*), donde determinadas características de la plataforma se pueden variar en función de cada cliente.

La arquitectura de productos relacionados es hoy día objeto de un número creciente de estudios y propuestas, y ofrece a la vez uno de los mayores potenciales de innovación. En los apartados siguientes se da una nueva visión del tema basada en los conceptos de *originación* y *destinación* de los productos, la cual puede contribuir a impulsar el diseño y desarrollo de productos y sistemas bajo un punto de vista más global, en especial los productos de equipamiento para procesos.

### 3.3 Etapas de originación y de destinación

Cuando se analiza un producto desde la perspectiva de los principales *agentes* que intervienen en su ciclo de vida, toman especial relevancia las agrupaciones de etapas relacionadas con el origen y el destino del producto.

Estas agrupaciones de etapas son:

*Originación* (término ya usado por [Hubka y Eder, 1988]). Conjunto de etapas del ciclo de vida que dan origen a un producto y que incluye: Especificación; Diseño y desarrollo; Fabricación (para los bienes) e implantación (para los servicios). El agente singular o colectivo de la originación es el *constructor*.

*Destinación*. Conjunto de etapas del ciclo de vida a las que va destinado el producto y que incluye: Utilización; Mantenimiento; y Decisión de su fin de vida. El agente singular o colectivo de la destinación es el *usuario* o *destinatario*.

En el marco de economías cada vez más globalizadas, normalmente el agente *constructor* es distinto del agente *destinatario*, por lo que deben establecerse unas etapas de *transferencia* entre estos dos *agentes*.

*Transferencia*. Conjunto de etapas del ciclo de vida cuyo objeto es transferir el producto entre *constructor* y el *destinatario* y que incluye: Distribución (reparto, transporte, almacenamiento); Comercialización (promoción, venta, condiciones de postventa); Implantación (configuración, instalación, inicialización). El agente singular o colectivo de la transferencia es el *transferidor*.

Tabla 3.1 Análisis del producto según fases del ciclo de vida y agentes que intervienen

Ciclo de vida		Agentes
Etapas	Subetapas	
Creación:	Definición Decisión	Creador
Originación	Especificación y concepción Diseño y desarrollo Fabricación, expedición	Constructor
Transferencia	Distribución, transporte y almacenaje Promoción, comercialización y venta Configuración e implantación	Transferidor
Destinación:	Uso y mantenimiento Fin de vida (decisión)	Usuario
Reciclado:	Reutilización Reciclado de materiales Recuperación de energía Digestión natural o artificial Vertido controlado	Reciclador

Antes de la *originación* y después de la *destinación* hay dos agrupaciones de etapas más que suelen realizar el constructor y el destinatario respectivamente y que, debido a ello, suelen confundirse con ellas. Son:

*Creación*. Conjunto de etapas cuyo objeto es concebir el producto y lanzar su ejecución. Incluye: Definición (caracterizar el producto, analizar y evaluar sus implicaciones; establecer como se va a realizar, a quién va dirigido y para qué y cómo se usará); Decisión (mani-

festar la voluntad de realizarlo y, en su caso, disponer los recursos necesarios para llevarlo a término). El agente singular o colectivo de esta agrupación de etapas es el *creador*.

*Reciclaje*. Conjunto de etapas cuyo objetivo es, después de determinar el fin de vida del producto, procurar recircular los recursos utilizados. Incluye: Nuevo uso; Reutilización de partes; Reciclaje de materiales; Recuperación de la energía. Aunque las posibilidades de reciclaje deberían estar ya previstas en la creación de los productos, su complejo y diverso origen (en el espacio y el tiempo) hace que el reciclaje adquiera carta de naturaleza propia. El agente singular o colectivo de esta agrupación de etapas es el *reciclador*.

En el mundo actual con una población creciente y unos recursos cada día más limitados para esta población, estas dos etapas (creación y reciclaje) van adquiriendo una relevancia económica y una responsabilidad social crecientes. En el futuro, probablemente las figuras del *creador* y *reciclador* irán tomando personalidad propia, no siempre coincidentes con las figuras de *constructor* y *destinatario*.

En este sentido, la creación y el reciclaje de productos cada vez están más condicionados por la nueva conciencia ciudadana sobre sostenibilidad, por lo que los poderes políticos y las administraciones públicas deberán someter estas decisiones y actividades a un número creciente de normas, reglamentos y leyes.

### 3.4 Familia, portafolio y gama de productos

#### Familia y portafolio de productos

En la literatura sobre diseño y desarrollo de productos aparecen repetidamente los conceptos de *familia de productos* y *portafolio de productos*. Según se ha visto, las definiciones más aceptadas hoy día conciben el *portafolio de productos* (o *product portfolio*) como el conjunto de productos distintos que ofrece una determinada empresa [Otto y Wood, 2001], mientras que conciben la *familia de productos* (o *product family*) como un conjunto de productos que comparten una *plataforma* común [Meyer y Lehnerd, 1997] y que, normalmente, forma un subconjunto del portafolio de una empresa.

A continuación se propone un nuevo enfoque sobre las agrupaciones de productos basados en los conceptos de *originación* y *destinación* que, sin contradecir la visión anterior, permite ampliar el marco de referencia y establecer nuevas metodologías para conseguir innovaciones cualitativas en la planificación del *portafolio de productos* de una empresa, especialmente en los fabricantes de equipos industriales

*Familia de productos* (se establece una analogía con las familias de seres vivos). Agrupación de productos que conviven e interaccionan en las etapas de *originación*, es decir, que comparten elementos en su diseño, fabricación (para la producción de bienes) e implantación (para la producción de servicios).

La planificación de una familia de productos interesa especialmente a la empresa que los origina (*constructor*) y su principal preocupación consiste en utilizar los recursos de *originación* (diseño, fabricación, implantación) de la forma más eficiente posible a fin de ahorrar costes.

*Portafolio de productos – Catálogo de productos*. Agrupaciones de productos que conviven e interaccionan en las etapas de *destinación*, o sea que comparten elementos en su uso y mantenimiento. Si el objeto de esta agrupación es articular el proceso de concepción y diseño

de los productos, se usa el término *portafolio* mientras que, si el objeto de la agrupación es de carácter meramente descriptivo de los productos ya existentes, se usa el término *catálogo*.

Si bien el concepto de *portafolio* suele referirse a los productos que ofrece una empresa, este concepto tiene su máximo interés cuando se extiende a todos los productos que ofrece el mercado y que cooperan en una actividad. Debe distinguirse, pues, entre *portafolio de productos de una actividad* cuyo agente genérico es el *transferidor* (empresas comerciales, para actividades simples o, un *configurador*, para actividades con equipamientos más complejos), y *portafolio de productos de una empresa*, cuyo agente es un *constructor* y que suele limitarse a una parte de los productos del *portafolio de una actividad*.

### Gama de productos

Más allá de la redefinición de los conceptos anteriores (*familia de productos* y *portafolio de productos*), se define un tercer concepto más amplio denominado *gama de productos* (cuya equivalencia en inglés es *product range*) para apoyar la elaboración de una nueva estrategia de concepción y diseño de los productos necesarios para una actividad y, dentro de este contexto, diseñar el *portafolio de productos* de una determinada empresa ([Riba et al., 2004]; [Riba et al., 2005]).

*Gama de productos*. Agrupación de productos necesarios para una actividad (más allá de los que fabrica una empresa) cuya *arquitectura* se concibe para resolver de forma óptima tanto los condicionantes de *originación* (usar eficazmente los recursos de diseño y fabricación) como las oportunidades de *destinación* (ofrecer la máxima satisfacción a los usuarios dentro de esta actividad).

En esta nueva visión deben considerarse las etapas de *transferencia* del ciclo de vida como nexo entre las etapas de *originación* y de *destinación*, y adquiere su máxima potencialidad cuando también se incluyen las etapas de *creación* y de *reciclaje*.

Tabla 3.2 Agrupaciones de productos en función de las etapas del ciclo de vida.

Etapas del ciclo de vida	Agentes	Relaciones entre productos
<b>Originación</b> Especificación y concepción Diseño y desarrollo Fabricación o implantación	<b>Creador</b> <b>Constructor</b>	<b>Familia de productos</b> Productos de una empresa que comparten elementos en su <i>originación</i>
<b>Destinación</b> Uso y mantenimiento Fin de vida (decisión)	<b>Usuario</b> <b>Reciclador</b>	<b>Portafolio de productos</b> Productos del mercado (o de una empresa) que comparten elementos en su <i>destinación</i>
<b>Originación + Transferencia + Destinación (creación + reciclaje)</b> Visión desde una actividad (más allá de una empresa fabricante)	<b>Constructor</b> <b>Transferidor</b> <b>Usuario</b>	<b>Gama de productos</b> Productos del mercado que comparten elementos en su <i>origen</i> , <i>transferencia</i> y <i>destino</i> (eventualmente, <i>creación</i> y <i>reciclaje</i> )



## Procesos operativos de una actividad

En el curso de los trabajos antes citados ([Riba et al., 2004]; [Riba et al., 2005]), se vio la necesidad establecer un nuevo marco para referenciar los productos utilizados en procesos complejos.

Cuando la relación entre un producto y el usuario es directa, se adopta la denominación de *productos de usuario final* mientras que, cuando los productos intervienen en procesos productivos más complejos (fabricación de bienes, prestación de servicios), la relación entre el producto y el destinatario deviene más indirecta y se adopta la denominación de *producto de equipamiento* [Riba et al., 2004].

Para los primeros, la concepción, diseño y desarrollo producto a producto, o por familias, puede proporcionar resultados razonablemente satisfactorios. Sin embargo, cuando este mismo procedimiento se aplica a los productos de equipamiento, se pierden en gran medida las grandes posibilidades de innovación subyacentes en estos sistemas complejos.

El marco de referencia basado en la *gama de productos* ofrece nuevas posibilidades de mejora tanto a nivel general (social, económico y político) como a nivel de una empresa particular. A nivel general, constituye una importante herramienta de apoyo para, a través de normas, reglamentos, leyes e inversiones, planificar actividades y procesos en contextos más sostenibles. A nivel de una empresa, permite diseñar el portafolio más adecuado e innovar los productos y en procesos.

La metodología del proyecto GAMMA propone analizar los procesos de una actividad en la que intervienen los productos a diseñar. Normalmente, en cualquier actividad pueden distinguirse varios procesos emparentados (*familia de procesos*) que se diferencian por sus *contextos de utilización* (según el volumen de actividad y su secuencia, la calidad requerida de los resultados, la intervención del hombre, etc.).

La determinación de una *gama de productos* y del correspondiente *portafolio de producto* de una empresa pueden seguir los dos pasos siguientes:

1. Establecer la *familia de procesos* de la actividad y sus *contextos*. Articular estos procesos a través de una *arquitectura de la familia de procesos* (secuencia de tareas, tareas comunes, aislamiento de tareas específicas de un contexto, etc.). El diseño de la familia de procesos y su arquitectura constituye una primera e importante oportunidad de innovación.
2. Establecer los *productos de proceso* para cada contexto (conjunto de productos que intervienen en un proceso correspondiente a un contexto). La *gama de productos* está formada por el conjunto de productos de proceso que intervienen en una familia de procesos. Articular estos productos de proceso a través de una *arquitectura de gama de producto* (asociación de tareas a cada producto, productos que intervienen en varios procesos, módulos comunes a varios productos, etc.). El diseño de la gama de productos y su arquitectura proporciona una segunda gran oportunidad de innovación y constituye el marco para diseñar el *portafolio* de una empresa particular cuyos productos incidan en la actividad considerada.

En base al *portafolio* diseñado a partir de la *gama de producto* de la actividad, la empresa desarrolla las correspondientes familias de productos.

Esta metodología proporciona resultados interesantes en todo tipo de actividad, pero es especialmente fructífera en el diseño del portafolio de producto de empresas que producen produc-

tos de equipamiento (o bienes de equipo) destinados tanto a actividades de fabricación como de prestación de servicios.

### 3.5 Ejemplos

A continuación se describe la incidencia de los anteriores conceptos y metodologías en dos actividades. La primera, la lavandería para colectividades, afectaría a productos de equipamiento mientras que la segunda, la fotografía digital, afectaría más bien a productos de usuario final.

#### Lavandería para colectividades

La lavandería para colectividades (hoteles, restaurantes, residencias) es un proceso complejo que requiere un equipamiento diversificado (lavadoras, secadoras, planchadoras, entre otras). Este equipamiento suele ser fabricado por empresas que se especializan en uno o más de estos tipos de máquinas.

En el presente ejemplo se supone una empresa X especializada en la fabricación de planchadoras que tiene organizado sus productos en dos familias: Familia de planchadoras A, de rodillo pequeño, con tres anchuras (pequeña, mediana y grande); y Familia de planchadoras B, de rodillo grande, con dos anchuras (pequeña y grande).

Los miembros de cada una de estas dos familias comparten una plataforma común consistente en el conjunto de partes y sistemas situados en los dos cabezales extremos, mientras que los elementos largos (travesaños, rodillos, etc.) varían con la anchura.

El conjunto de planchadoras que ofrece la empresa X es su *portafolio de producto* (figura 3.2).

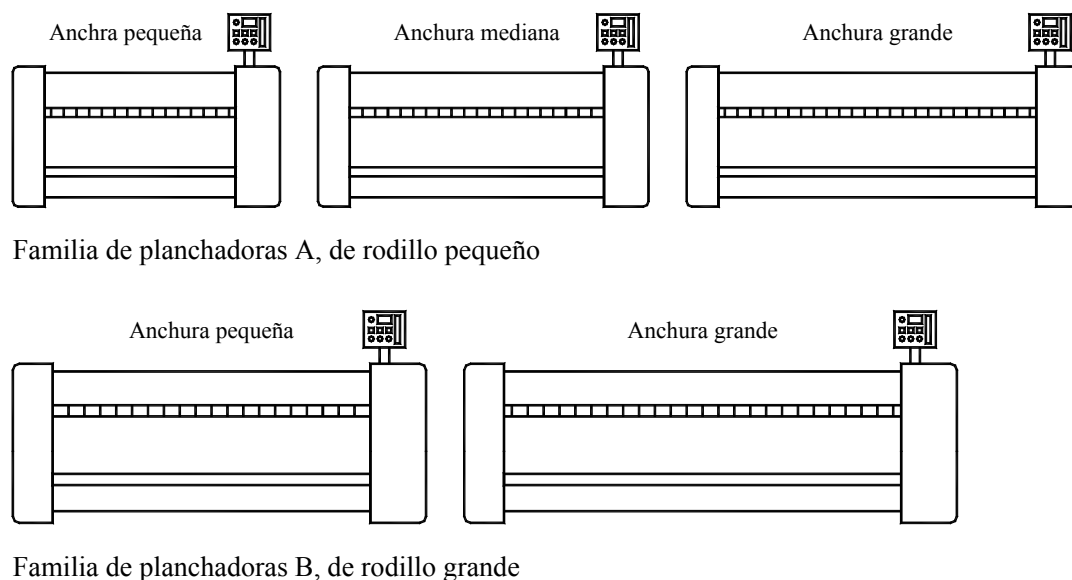
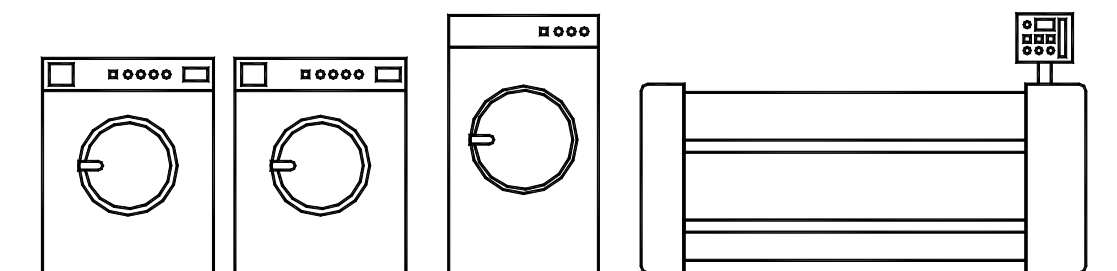


Figura 3.2 Portafolio de producto de un fabricante de planchadoras

Sin embargo, las planchadoras de la empresa X no se utilizan como unidades individualizadas sino que cooperan con otras máquinas (lavadoras, secadoras) para proporcionar el *equipamiento de proceso* de lavandería para colectividades. El presente ejemplo es una muestra de

equipamiento de procesos formado por dos lavadoras, 1 secadora y una planchadora de la empresa X de rodillo grande y anchura pequeña (figura 3.3).



2 lavadoras, 1 secadora, 1 planchadora (rodillo grande, anchura pequeña)

Figura 3.3 Equipamiento de proceso de lavandería para colectividades

Así en el ámbito del mercado, el *portafolio de producto* de la empresa X (planchadoras) se agrega al portafolio de otras empresas (fabricantes de lavadoras, secadoras y también de otras planchadoras) para proporcionar el *portafolio de productos comercial* de la *actividad de lavandería para colectividades*. El *portafolio de productos comercial* agrupa los productos en función de su destinación.

El concepto de *gama de producto* consiste en una construcción virtual de todos aquellos equipos que van a cooperar en una determinada actividad (en este caso la lavandería), con el análisis de los distintos contextos en los que puede producirse la actividad (industrial, colectividades, autoservicio) determinados por diversos factores de acotación (volumen de ropa a procesar, tipo de ropa a procesar, calidad requerida del lavado, coste admisible para el proceso, formación de los operadores humanos, calidad de los suministros eléctrico y de agua, etc.). Esta *gama de producto* debe servir de marco para concebir y planear el portafolio de producto para la empresa X considerada, fabricante de planchadoras de rodillo.

### Cámara digital

Las cámaras fotográficas (especialmente las destinadas al ocio) podrían considerarse productos de usuario final para los que las reflexiones anteriores sobre interacción con otros productos (dimensión sincrónica) no aplican. Sin embargo, un análisis más detallado de la cuestión muestra que estas consideraciones sí tienen interés, y más aún a la luz de la reciente y progresiva substitución de la fotografía tradicional de base fotoquímica por la nueva fotografía digital.

En efecto, las cámaras analógicas tradicionales requieren de otros productos y servicios para su funcionamiento: *a)* Carretes de película fotosensible; *b)* Equipo de revelado; *c)* Papel fotográfico para copias; *d)* Sistemas de ampliación y reproducción de copias; *e)* Servicios de revelado y de reproducción.

Las nuevas cámaras digitales menos aún aparecen como productos aislados, sino que comparten su destinación con otros productos y servicios: *a)* Memorias para almacenaje informático de imágenes; *b)* Sistemas de alimentación (pilas, baterías recargables); *c)* Ordenadores para procesar y gestionar las imágenes; *d)* Programas para tratar las imágenes; *e)* Impresoras de calidad fotográfica; *f)* Servicios telefónicos.

El éxito o fracaso de la fotografía digital no está solo en las prestaciones y los precios de las nuevas cámaras digitales, sino también en como cooperan con otros productos y servicios que intervienen en los contextos (tradicionales y nuevos) de esta actividad. Por ejemplo: 1. La fácil comunicación con el ordenador impulsa su difusión entre técnicos y profesionales que insertan directamente las imágenes en sus informes; 2. La miniaturización permite su inclusión en el teléfono móvil y la transmisión de las imágenes vía telefónica; 3. La conexión directa a impresoras de calidad fotográfica impulsa su expansión en la fotografía de ocio; 4. Finalmente, el aumento de resolución permite cubrir (e incluso mejorar) la fotografía profesional.

Así pues, el análisis de los *contextos* (tradicionales y nuevos) relacionados con la fotografía digital y de la correspondiente *gama de producto*, proporcionan un marco de referencia inmejorable para planear el *portafolio* de las empresas que fabrican bienes y que proporcionan servicios para esta actividad (ciertamente, cámaras digitales, pero también ordenadores, programas para tratamiento de imágenes, impresoras de calidad fotográfica, servicios telefónicos, etc.).

### 3.6 Conclusiones

Los principales puntos del capítulo pueden resumirse en las siguientes conclusiones:

1. Más allá de la consideración del ciclo de vida de un producto (dimensión diacrónica), el análisis de su interacción con otros productos del entorno (dimensión sincrónica) constituye una perspectiva de gran interés para su diseño.
2. La referencia a las etapas de originación y de destinación de los productos permite una delimitación más precisa de los conceptos de familia y de portafolio, a la vez que posibilita la definición del nuevo concepto de gama de productos.
3. La articulación de la arquitectura de gama de producto, construcción virtual del conjunto de productos que conviven e interaccionan en una actividad, constituye una herramienta fundamental para el diseño de los portafolios de las empresas que fabrican estos productos.

Así pues, la articulación de estos nuevos conceptos permite establecer metodologías de mayor alcance que las tradicionales en la concepción, diseño y desarrollo, especialmente para productos y sistemas globales donde cada día inciden y condicionan un mayor número de circunstancias.

En gran medida, las reflexiones y la visión que antecede son fruto de los trabajos realizados alrededor del proyecto GAMMA llevado a término por investigadores del Centre de Disseny d'Equips Industrials (CDEI-UPC) y del Centre-CIM, Barcelona [Riba et al., 2004b]. A partir del objetivo original centrado en la modularización funcional de máquinas, el equipo investigador creyó conveniente ampliar el punto de vista hacia las bases metodológicas del diseño de sistemas complejos (los procesos de una actividad y el equipamiento asociado).

### 3.7 Referencias

[Dahmus et al., 2000] Dahmus, J.B., Gonzalez-Zugasti, J.P.; Otto, K.N., (2000) "Modular Product Architecture", ASME DETC2000/DTM-14565, Baltimore, EUA.

- [Elgaard y Miller, 1998] Elgaard, P., Miller T.D., (1998) “Designing Product Families” Design for Integration in Manufacturing. Proceedings of the 13<sup>th</sup> IPS Research Seminar, Fulgoe, Alborg University
- [González-Z y Otto, 2000] Gonzalez-Zugasti, J.P., Otto, K.N., (2000) “Modular Platform-based Product Family Design”, ASME, DETC2000/DAC-14238, Baltimore, EUA.
- [Henderson y Clark, 1990] Henderson, R.M., Clarck, K.B. (1990) “Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing Product”, *Administrative Science Quarterly* 35.
- [Hubka y Eder, 1988] Hubka W. and Eder W.E., (1988), “Theory of Technical Systems”, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 1988.
- [Meyer y Lehnerd, 1997] Meyer, M.H., Lehnerd, A.P., (1997), “The Power of Product Platforms: Building Value and Cost Leadership”, Free Press, New York, 1997.
- [Meyer y Utterback, 1993] Meyer, M.H., Utterback, J.M., 1993, “The Product Family and the Dynamics of Core Capability”, *Sloan Management Review*, Vol.34, pp. 29-47, 1993.
- [Riba et al., 2004] Riba-Romeva, C. (Investigador principal); Coll-Raich J., Llorens-Cervera S., Genovese, P.A., Gomà J.R., Fenollosa-Artés, F., “GAMMA: Desarrollo de metodología para optimizar la modularización funcional de máquinas en PYMES de amplia gama de producto y series cortas en un entorno DFMA” (Memoria final, no publicada), financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología, España 2002-2004; referencia DPI2000-0433-P4-05
- [Riba et al., 2005] Riba-Romeva C., Coll-Raich J., Llorens-Cervera S., Genovese, P.A., Gomà J.R., Fenollosa-Artés, F., (2005) “The Operative Process as a Frame of Reference for Equipment Portfolio Design”, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol.18, No. 7, pp. 537-549, Oct-Nov. 2005.
- [Robertson y Ulrich, 1998] Robertson, D., Ulrich, K. (1998) “Platform Product Development”, *Sloan Management Review*, Wharton Scholl, Philadelphia, EUA
- [Yu et al., 1998] Yu, J.S.; Gonzalez-Zugasti, J.P.; Otto, K.N., (1998) “Product Architecture Definition based upon Customer Demands”, ASME DETC98/DTM-5679, Atlanta, EUA.
- [Zamirowski y Otto, 1999] Zamirowski, E.J., Otto, K.N., (1999) “Product Portfolio Architecture definition and Selection”, *International Conference on Engineering Design*, ICDE 99, Munich, Alemania



---

## 4 Arquitectura de producto y modularidad

---

**Heriberto Maury, Humberto Gómez**

*Grupo de investigación en Materiales, Procesos y Diseño (GIMYP)*

*Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia*

[hmaury@uninorte.edu.co](mailto:hmaury@uninorte.edu.co), [humgomez@uninorte.edu.co](mailto:humgomez@uninorte.edu.co)

**Carles Riba, Judit Coll, Pablo Genovese**

*Centre de Disseny d'Equips Industrials (CDEI)*

*Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Barcelona, España*

[carles.riba@upc.edu](mailto:carles.riba@upc.edu), [coll@cdei.upc.edu](mailto:coll@cdei.upc.edu), [genovese@cdei.upc.edu](mailto:genovese@cdei.upc.edu)

*El objeto de este capítulo es introducir el concepto de arquitectura de producto o sistema, distinguiéndolo del de estructura.*

*A continuación, se dedica una especial atención al fenómeno de la modularidad poniendo de relieve tanto su evolución a través de un recorrido histórico como analizando su complejidad en base a las perspectivas de sistema, de jerarquía y de ciclo de vida.*

*Más adelante se analizan distintos principios de estructuración modular como herramienta para establecer la arquitectura del sistema lo que constituye un importante apoyo para el diseño. Finalmente, se pone de manifiesto la gran incidencia que la estructuración modular tiene sobre el comportamiento y las prestaciones de los productos en las distintas etapas del ciclo de vida, así como las grandes oportunidades de innovación que se abren con estas metodologías.*

### 4.1 Introducción

Uno de los aspectos que tiene mayor incidencia en el comportamiento de un producto, y que ofrece mayores posibilidades de innovación desde el punto de vista competitivo, es el diseño de su arquitectura. La definición de ésta debe iniciarse ya en el planteamiento mismo de sus especificaciones y constituye una referencia para todo el proceso de desarrollo posterior.

El concepto de arquitectura incluye las reglas y principios de estructuración de sus elementos y relaciones con miras a conseguir ventajas competitivas en cualquiera de las distintas etapas de su ciclo de vida. Así, pues, en base a unas adecuadas reglas de diseño, la arquitectura confiere un valor diferencial al producto o sistema.

Entre estas reglas, suele ser de gran interés la agrupación o integración de elementos del producto en unidades funcionales o constructivas independientes denominadas módulos. Las relaciones entre los distintos módulos, así como con su entorno, se logran por medio de las interfases que materializan las interacciones y los flujos necesarios de información, energía y materiales.

Más allá de las funciones principales para las que ha sido concebido, un producto debe responder también a los modos de operación derivados (puesta en marcha y paro, estado de no funcionamiento), ocasionales (transporte e instalación, recargas, limpiezas) o accidentales (usos no previstos, riesgos). La arquitectura de producto debe ser utilizada para dar una solución adecuada y equilibrada a los distintos requerimientos y formas de comportamiento en todos ellos.

Por otro lado, la estructura de un producto o sistema es el resultado de la materialización de su arquitectura y, por lo tanto, contiene implícitamente y explícitamente las relaciones jerárquicas, funcionales y operativas entre sus componentes, tanto si éstos son físicos como no físicos.

### **Distinción entre estructura y arquitectura**

El término estructura es completamente general y describe el arreglo de las partes de un sistema y las relaciones entre estas partes. En este sentido, la arquitectura es una forma de estructura. Sin embargo, en las actividades de diseño y desarrollo se suele reservar el término arquitectura para definir el conjunto de reglas (intencionadas) de estructuración de los elementos de un producto y las relaciones entre estos elementos.

La arquitectura de un producto o sistema constituye una herramienta operativa de síntesis destinada a dar apoyo a sus etapas de concepción y diseño, mientras que la estructura de un producto o sistema es una herramienta descriptiva de análisis destinada fundamentalmente a gestionar las etapas posteriores a su definición en el ciclo de vida (fabricación, distribución, utilización, mantenimiento y fin de vida).

Por lo tanto, las formas de representación de la arquitectura de un producto (que se define y desarrolla) deben ser globales, sugerentes, ágiles y dinámicas (tipo esbozo o “sketch”) mientras que las formas de representación de la estructura de un sistema (ya definido) deben ser detalladas, precisas, metódicas y exhaustivas (tipo BOM, o “bill of materials”).

Los conceptos de arquitectura y de estructura, más allá de los productos, también se extienden a otros sistemas (procesos, servicios, organizaciones), así como a agrupaciones de sistemas relacionados (familias de productos, portafolios de productos, gamas de productos, familias de procesos).

## **4.2 Arquitectura de producto**

La arquitectura de un producto se concreta a través del establecimiento de las reglas de diseño, entre las que cabe destacar la definición de los módulos, las interfases y las plataformas. A continuación se establecen y comentan estos conceptos.

### ***Regla de diseño***

Es cualquier regla conceptual, tecnológica, constructiva, comercial o contractual, establecida por una persona o colectivo con autoridad reconocida (también llamado arquitecto) destinada a dirigir y orientar el diseño de un producto o sistema.

Las reglas de diseño (y de forma especial, las que estructuran los módulos, las interfases y las plataformas) constituyen elementos básicos de la arquitectura de un sistema. Entre otros, las reglas de diseño alcanzan los siguientes aspectos:

- a) Principios de pertenencia. Distribución de las distintas funciones entre los módulos de un producto o sistema
- b) Protocolos de interfase. Descripciones detalladas de las interacciones de los módulos entre sí, de los módulos con el sistema y de los módulos y el sistema con el exterior
- c) Protocolos de integración y estándares de verificación. Procedimientos de integración y de configuración de las partes de un sistema, y estándares para la verificación del funciona-



miento del sistema en su conjunto y de cada parte, en cada uno de los distintos modos de operación.

### ***Módulo, interfase y plataforma***

Un *módulo* es una parte de un producto o sistema delimitado a través de jerarquizar la información asociada en: 1. Información visible, que explicita la relación del módulo con su exterior (otros módulos, el sistema, o el exterior del sistema); 2. Información oculta, que interrelaciona elementos internos de un módulo; suele ser oculta y, puede ser determinada con independencia del resto del sistema.

Una *interfase* es una superficie (real o virtual) entre un módulo y su exterior (o entre un sistema y su exterior) con la explicitación de la información visible asociada.

Finalmente, una *plataforma* es un conjunto de recursos comunes (reglas de diseño, módulos, interfases) compartidos por varios productos y que responden a una arquitectura favorable para el conjunto de productos implicado (familia de productos o portafolio de productos).

Los sistemas estructurados en una jerarquía de módulos e interfases toman el nombre de modulares y el principio de arquitectura se designa por modularidad.

A continuación se analizan dos estructuras de producto distintas para una lavadora-centrifugadora doméstica, una de ellas llamada rígida, ya que el eje del tambor va directamente articulado a la base y, la otra, llamada flotante en la que el eje del tambor forma parte del grupo flotante suspendido por muelles y amortiguadores.).

### ***Ejemplo:***

Producto:	Lavadora-centrifugadora doméstica
Arquitectura 1:	Máquina rígida
Reglas de diseño:	Carga frontal; Dimensiones y capacidad de acuerdo con su ubicación habitual; Factor de centrifugación bajo.
Módulos:	Mueble-base (soporte, puerta, unidad de control); Envolverte; Tambor y eje; Tapa frontal del tambor.
Interfases:	Máquina/suelo (unión atornillada); Grupo flotante/base (unión rígida); Máquina/exterior (suministros de agua y electricidad; desagüe; Entrada para jabón, suavizante); máquina/usuario: panel de control.
Arquitectura 2:	Máquina flotante
Reglas de diseño:	Carga frontal; Dimensiones y capacidad de acuerdo con su ubicación habitual; Factor de centrifugación elevado.
Módulos:	Mueble-base (soporte, puerta, unidad de control); Grupo flotante (envolverte, tambor, motor y transmisión)
Interfases:	Máquina/suelo (simplemente apoyada); Grupo flotante/ base (muelles y amortiguadores); Máquina/exterior (suministros de agua y electricidad; desagüe; Entradas para jabón y suavizante); máquina/usuario: panel de control

### 4.3 Análisis de la modularidad

El concepto de *módulo* es sin duda complejo y, como pone de manifiesto la variedad de circunstancias en que se usa, abarca numerosos aspectos sobre los cuales aún no existe unanimidad en la comunidad científica. Para ello, se propone analizar los conceptos de módulo y de modularidad desde dos puntos de vista: Su evolución a lo largo de la historia y el análisis de su complejidad desde varias perspectivas.

#### Evolución histórica del concepto de módulo

Los primeros apartados de esta breve introducción histórica se basa en el esquema aportado por el interesante trabajo de [Miller y Elgaard, 1998] sobre la definición de módulo, modularidad y modularización, mientras que el último apartado referente al módulo como estructura de información se basa en unas consideraciones de los autores sobre las propuestas de [Baldwin y Clark, 2000] en relación a las reglas de diseño y a la modularidad.

##### *Primeros significados del término módulo*

Originalmente, el término *módulo* proviene del latín *modulus* que significaba medida o longitud, las medidas estándar que aseguraban unas correctas proporciones.

Durante el movimiento de la [Bauhaus, 1919-1933], el arquitecto alemán Walter Gropius combina por primera vez la idea de estándar con los bloques constructivos (o *baukasten*) y la producción industrial (elementos prefabricados), donde prevalece el concepto de racionalización

En los años 1960, desde la ingeniería también se plantean los bloques constructivos con la idea de crear variedad mediante la combinación y el intercambio.

##### *Módulo y función*

Hasta tiempos muy recientes no se concibe la modularidad en términos de funciones e interfaces. Los ingenieros mecánicos alemanes [Pahl y Beitz, 1988] relacionan módulo con funcionalidad y establecen distintos tipos de módulos, si bien no tratan el tema de las interfases a pesar de introducir los flujos de materiales, energía y señales.

Ya en la perspectiva de la mecatrónica, [Ulrich & Tung, 1991] argumentan que, en los sistemas modulares, existe una similitud entre la estructura física y la funcional, para lo que es necesario caracterizar las interfases de los módulos. Su análisis se centra en las *estructuras modulares* en lugar de los tipos de módulos.

Más adelante, [Ulrich, 1995] propone distinguir entre *arquitectura modular* y *arquitectura integral* (ver las definiciones más adelante). Sin embargo, los módulos continúan siendo aún unidades físicas.

##### *Módulo y conocimiento*

Con el desarrollo de la informática y del software, donde el concepto de modularidad es esencial, este concepto debe redefinirse en términos más genéricos, ligándole a la idea de *reutilización* de recursos, muchos de ellos embebidos en los productos.

Se constata que para obtener estos beneficios de la modularidad no siempre son necesarios los módulos físicos, sino que también pueden conseguirse a través de la *reutilización intelectual* (por ejemplo, especificaciones de ingeniería). Esta nueva visión difumina los límites entre la

modularización tradicional y la nueva *gestión del conocimiento* [Sanchez y Mahoney, 1996]. Los *patrones de diseño* sugeridos por [Alexander, 1964] son un precedente.

### ***Módulo como estructura de la información***

Una nueva línea muy fructífera en la definición de la modularidad va desde [Parnas, 1972] que introdujo el concepto de *información oculta* en ingeniería de software, pasando por la *matriz de estructura de diseño* (DSM, *design structure matrix*), ideada por [Steward, 1981] y desarrollada por [Eppinger, 1994] y otros, para llegar a las recientes propuestas de [Baldwin y Clark, 2000].

Según [Baldwin y Clark, 2000], el arquitecto (creador de la arquitectura del sistema) agrupa los parámetros de diseño en bloques independientes (módulos) y establece una jerarquía con el esquema siguiente: *a) Información visible*, relativa a los parámetros de diseño visibles a nivel de sistema (fuera de los módulos) donde las interacciones deben preservarse de modificaciones; *b) Información oculta*, relativa a los parámetros de diseño internos a los módulos, ocultos para al resto del sistema, habitualmente muy interdependientes entre sí y que ofrecen grandes posibilidades de optimización en el seno del módulo (compacidad, velocidad, abaratamiento de costos).

Al inicio del desarrollo, el arquitecto no suele conocer todas las interdependencias de los parámetros de diseño por lo que debe prever procedimientos de integración y verificación al final del proceso.

### **La complejidad de la modularidad**

Otro punto de vista interesante es el análisis de la complejidad del concepto de modularidad que se obtiene al reseguir algunos de los trabajos más significativos publicados en la última década. En base a una revisión limitada a productos hardware, Fixson llega a la conclusión de que la modularidad no es solo una característica, sino un paquete (*bundle*, en inglés) de características de un producto que se ponen de manifiesto a través del análisis de varias perspectivas [Fixson, 2001].

Así pues, Fixson propone analizar la modularidad bajo tres perspectivas distintas: la del *sistema*, la de la *jerarquía* y la del *ciclo de vida*.

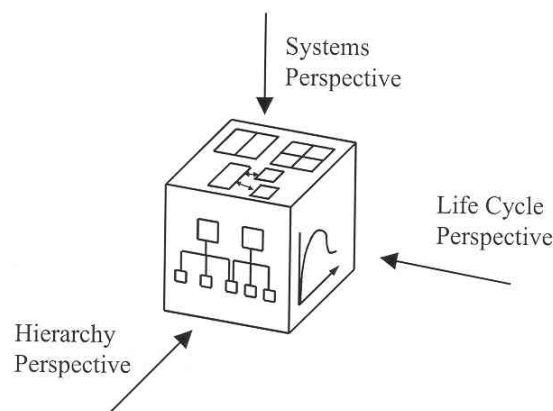


Figura 4.1 Tres perspectivas sobre la modularidad

#### ***Perspectiva del sistema:***

En esta perspectiva deben tenerse en cuenta dos aspectos fundamentales de la modularidad: los elementos que componen un producto y las relaciones (interfases) entre estos elementos.

Aparecen, pues, tres enfoques distintos basados en: 1. Solo relaciones; 2. Solo elementos; y 3. relaciones y elementos.

#### *Solo relaciones (interfases).*

Varios investigadores se centran en las *relaciones* argumentando que la determinación de los elementos (que aparecen de forma implícita) no restringe el análisis. Se argumenta que “una arquitectura de producto modular es una forma especial de diseño que usa interfases estandarizadas entre los componentes para crear una arquitectura de producto flexible” [Sanchez & Mahoney, 1996] o que “la abstracción esconde la complejidad del elemento; las interfases indican como el elemento interacciona con el sistema mayor” [Baldwin & Clark, 2000]. Las nociones de *estandarización* y de *intercambiabilidad* son comunes a estos trabajos.

#### *Solo elementos*

Otros investigadores ponen el acento en los *elementos*. Las propuestas para hacer operativa la idea de la descomposición pueden clasificarse en tres grupos: 1. Los límites de los elementos funcionales están fijados y solamente pueden cambiarse unidades predeterminadas; 2. Se agrupan elementos pequeños para formar *módulos*; y 3. el caso *fundamental*, que propone la asignación de funciones a elementos.

#### *Relaciones y elementos*

El tercer conjunto de investigaciones argumenta que tanto los *elementos* como las *relaciones* son importantes para una completa descripción de la modularidad. En este sentido, [Ulrico, 1995] describe la *arquitectura de producto* como “el esquema por medio del cual las funciones del producto son asignadas a los componentes físicos” y distingue entre una *arquitectura modular* del producto con una correspondencia uno a uno entre elementos funcionales y componentes físicos y con interfases desacopladas entre componentes, y una *arquitectura integral* con una compleja correspondencia entre elementos funcionales y componentes físicos y con interfases acopladas entre componentes.

#### ***Perspectiva jerárquica:***

Desde hace tiempo, varios autores han señalado que los sistemas complejos tienden a organizarse en jerarquías. En este apartado se presentan dos aproximaciones jerárquicas: Una de *abajo-arriba*, basada fundamentalmente en la ingeniería, y otra de *arriba-abajo*, basada en el mercado.

#### *De abajo-arriba: como construir el producto*

Esta aproximación tiene las raíces en la ingeniería y busca crear productos que funcionen, para lo que los problemas complejos deben dividirse en sistemas más simples y fáciles de resolver. Entre los autores más destacados de esta tendencia hay: [Pahl y Beitz, 1986] que recomiendan desarrollar el diseño conceptual en cuatro pasos (identificar el problema; establecer la estructura de funciones; desarrollar principios de solución; evaluar y elegir los mejores principios de solución); y Stone, que desarrolla tres reglas heurísticas (flujo dominante, flujo ramificado, y flujo de conversión-transmisión) para identificar posibles módulos en el seno de la estructura de funciones [Stone et. al, 1998].

#### *De arriba-abajo: como servir al mercado*

Desde esta perspectiva, los productos se ven como “paquetes de atributos” [Krishnan & Ulrich, 2001] en los que deben resolverse dos objetivos conflictivos: Ofrecer la variedad deseada por el usuario; y reducir los costes impulsando la comunalidad. Para trasladar estos requerimientos a las arquitecturas de los productos y de las familias, se suelen utilizar elementos metodológicos

muy comunes: 1. La formación de módulos con unas funciones o características que, por medio de reemplazo, proporcionen variedad; 2 El diseño de interfases que faciliten este reemplazo por el diseñador, el fabricante o el usuario. En esta perspectiva destacan: La reutilización en el seno de las familias en base al concepto de *plataforma* como conjunto de subsistemas e interfases comunes [Meyer & Lehner, 1997]; La definición de varias categorías de arquitectura de portafolio (*Arquitectura fija*, adecuada a usuarios con necesidades estables; *Arquitectura ajustable*, cuando las necesidades de los usuarios requieren cierta adaptación ergonómica; *Arquitectura de plataforma*, cuando las necesidades son inestables en el tiempo o en determinados segmentos, lo que requiere concentrarlas en módulos) [Yu et al., 1999].

### ***Perspectiva del ciclo de vida***

La tercera perspectiva del trabajo hace referencia a las etapas del ciclo de vida de un producto a las cuales se orienta la modularidad, cada una de las cuales impone objetivos distintos a su comportamiento.

#### ***Diseño y desarrollo***

Dada la funcionalidad y la calidad del producto, en esta etapa se procura la reducción de los recursos de diseño y desarrollo. [Henderson y Clark, 1990] pusieron de manifiesto que las estructuras de las organizaciones tienden a reflejar la estructura de los productos. En base a la matriz de estructura de diseño, DSM [Steward, 1981] varios autores [Eppinger et al., 1994; Baldwin & Clark, 2000] han desarrollado técnicas de modelado para predecir, a través de la estructura organizacional, el impacto de las decisiones en la arquitectura de producto sobre los tiempos y costos de desarrollo.

#### ***Producción***

En producción, los módulos son predominantemente de montaje. En 1965, Starr proponía la producción modular como un nuevo concepto para proporcionar variedad por combinación de componentes. [Ulrich y Tung, 1991] proponen sus cinco categorías de modularidad y, [Pine, 1993] propone la clientelización en masa (mass customization). En este ámbito son de gran interés los estudios sobre el automóvil. La mayor parte de las definiciones de módulo que conciernen la etapa de producción buscan la reducción de costos de producción. Las principales ideas son: 1. La economía de escala en módulos usados en familias de productos; 2. La reducción de la complejidad a través de la fabricación y el montaje; 3. La reducción del material circulante a través del aplazamiento al máximo de la personalización del producto.

#### ***Utilización***

En esta etapa hay dos aspectos importantes a considerar: 1. Los módulos son creados para ser usados (conexión estrecha entre funcionalidad y uso); 2. La dificultad en separar los módulos del producto. La idea de la modularidad-en-el-uso posibilita la reconfiguración del producto (con menos esfuerzo que en su producción original) para permitir al usuario la personalización del producto. Las puestas al día o el mantenimiento requieren igualmente de los módulos: a) Interfases fáciles de separar; b) Contenido funcional a fin de obtener los resultados deseados. En este sentido, [Newcomb et al., 1998] proponen agrupar en módulos los componentes con vidas o con frecuencias de fallo similares.

#### ***Retirada***

Es la etapa final de su vida y, en general, impone requerimientos de modularización distintos de los de diseño, producción y uso. Se pueden dar dos situaciones: 1. El producto o algunas de sus partes pueden ser reutilizadas; 2. El producto es transformado para otro uso. Para produc-

tos formados por diversas partes, la primera opción incluye un proceso de desmontaje, mientras que el segundo lo puede requerir si el valor del material es rentable o si la legislación lo exige. [Newcomb et al., 1998] consideran deseable que los módulos tengan el mínimo número posible de materiales distintos, y [Coulter et al., 1998] proponen un método para identificar las restricciones que, si son modificadas, ofrecen la mayor mejora del entorno.

#### 4.4 Principios de estructuración modular

Después de recorrer el concepto módulo desde una perspectiva histórica y de analizar la complejidad de la modularidad, conviene descender hacia lo concreto y establecer varios principios de estructuración modular en el diseño de productos y sistemas.

Ya en 1991, Ulrich & Tung pusieron de manifiesto la existencia de cinco tipos de modularidad: *a)* De componentes permutados (component-swapping); *b)* De componentes compartidos (component-sharing); *c)* Cortar para adaptar (cut-to-fit); *d)* De bus; *e)* Y seccional. Además de modularidades mixtas.

Los investigadores daneses Elgaard y Miller, en dos trabajos publicados en 1998 y 1999, van más allá de los tipos de modularidad de Ulrich y Tung, y proponen unos principios de estructuración de los productos tomando como base la división de la cadena de valor [Lampel y Mintzberg, 1996] en *diseño, fabricación, montaje y distribución*.

Según donde se sitúe el paso de la actividad *estándar* a la actividad *personalizada*, los recursos comunes a varios productos pueden ir desde el conocimiento intelectual hasta los componentes físicos. En general, como más tarde tenga lugar la *personalización* en la cadena de valor (*aplazamiento*, o *postponement* en inglés), mayores recursos podrán ser compartidos por los productos pero también menor es el potencial de optimización de cada variante.

En los apartados que siguen, se analizan varios principios de estructuración de los productos en función de la etapa del ciclo de vida en la que se produce la personalización. Se contemplan cuatro momentos de la personalización del producto: *diseño, fabricación* (de componentes), *montaje*, y *después de la producción*.

##### **Personalización en el diseño**

En caso de personalizar un producto ya desde su diseño, se puede reutilizar el conocimiento según distintos principios tales como: Escalonamiento; Estrechamiento; y Pautas de diseño.

##### *Escalonamiento (size range)*

Según [Pahl y Beitz, 1996], corresponde a varios productos que realizan la misma función, siguen el mismo diseño básico e implican procesos de fabricación similares, pero que presentan valores escalonados en uno o más de sus parámetros de diseño (a menudo corresponde al tamaño, pero también puede abarcar otros parámetros).

Ejemplos: Rodamientos de una serie con distintos tamaños; Motores de distinta potencia; Fuentes de alimentación de distintos amperajes.

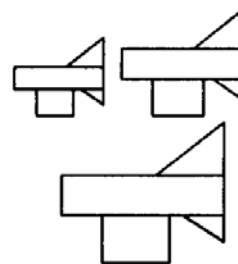


Figura 4.2

***Estrechamiento (narrowing)***

Cuando en varios productos existen las mismas funcionalidades, especialmente si son intensivas en conocimiento, es útil adoptar reglas de diseño comunes. Aunque el estrechamiento es parecido a la modularidad de componentes compartidos, no se resuelve necesariamente en módulos, sino que puede ser de naturaleza más abstracta.

Ejemplos: Circuito de alimentación de potencia aplicado a más de un producto; Uniones mecánicas especiales utilizadas en varias máquinas.

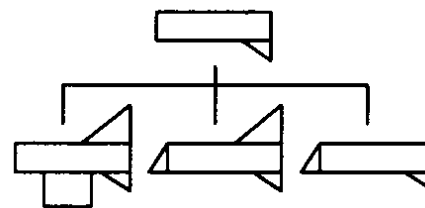


Figura 4.3

***Pautas de diseño (design patterns)***

Son la formalización de soluciones utilizadas por diseñadores experimentados en la resolución de problemas que anteriormente han mostrado su viabilidad. Tienen su origen en la arquitectura [Alexander et al., 1977] y su objetivo es evitar resolver de nuevo los mismos problemas partiendo de cero. Aunque muchas de las pautas de diseño son ampliamente conocidas en la bibliografía (manuales de ingeniería, marchas de cálculo), es importante la recopilación de las pautas de diseño propias de cada empresa para incorporarlas a su saber hacer (“know how”).

***Personalización en la fabricación***

Cuando la fabricación de un producto requiera cierta flexibilidad para adaptarse a aplicaciones específicas, conviene concentrar la variabilidad en unos pocos parámetros y evitar así la variación en otras partes del proceso productivo.

***Fabricación a medida (Fabricate to fit)***

Estrategia de personalización que permite adaptar el producto al usuario a partir de modificar el *valor* de alguno de sus parámetros por medio de un proceso de fabricación irreversible.

Ejemplos: Cables eléctricos de distintas longitudes, con terminales; Ajuste de la longitud de las mangas de una americana.



Figura 4.4

***Personalización en el montaje***

La personalización en el montaje se obtiene fundamentalmente a partir de una estrategia de combinar módulos. Los tipos de modularidad que se presentan a continuación [Elgaard y Miller, 1999] se basan en la clasificación de [Ulrich y Tung, 1991] con la adición de la modularidad de apilamiento (stack modularity) y la recolocación de la fabricación a medida (fabricate-to-fit) en la sección anterior.

***Modularidad de componentes permutados (component-swapping modularity)***

Dos o más módulos distintos pueden ser apareados con el mismo módulo básico para crear distintas variantes de un producto de la misma familia (ver la relación con la modularidad de componentes compartidos).

Ejemplos: Varios discos duros distintos que pueden incorporarse a un mismo ordenador; Varios motores distintos pueden equipar un mismo automóvil.

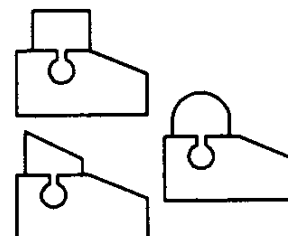


Figura 4.5

### *Modularidad de componentes compartidos (component-sharing modularity)*

Un mismo módulo puede formar parte de varios miembros de una familia o de varias familias de productos (concepto dual del anterior: si se toma como referencia el módulo común, se habla de modularidad de componentes permutados y, en caso contrario, de modularidad de componentes compartidos). Se suele asociar a la estandarización y a la eliminación de variedad inútil.

Ejemplos: Un mismo disco duro puede adaptarse a varios ordenadores distintos; Un mismo motor puede equipar varios modelos de automóvil.

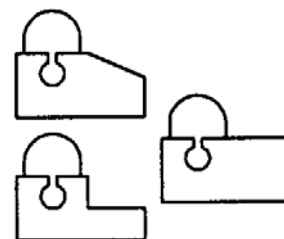


Figura 4.6

### *Modularidad de bus (bus modularity)*

Un módulo básico (el bus) puede ser conectado simultáneamente a un determinado número de componentes (iguales o distintos) a través de un mismo tipo de interfase. A diferencia de otros tipos de modularidad, la de bus permite variar el número y la localización de los componentes.

Ejemplos: Bus de comunicación de un ordenador donde se conectan los distintos periféricos; Alimentación neumática (en paralelo) de un taller; Estanterías montadas sobre una cremallera.

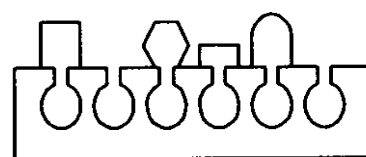


Figura 4.7

### *Modularidad seccional (sectional modularity)*

Combinación de módulos de formas arbitrarias siempre que estén conectados por el mismo tipo de interfases. Dado que cada módulo puede tener una o más interfases, existen pocas limitaciones estructurales y permiten la formación de secuencias, árboles y otras combinaciones. La variedad se suele asociar más con la modularidad seccional que con otros tipos de modularidad.

Ejemplos: Juego de construcciones infantiles LEGO; Muebles de cocina, armarios modulares.

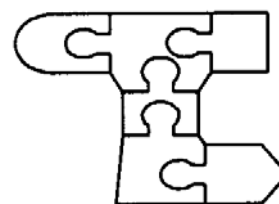


Figura 4.8

### *Modularidad de apilamiento (stack modularity)*

Colección de módulos similares que se conectan formando apilamientos para crear una unidad con un valor en una de sus dimensiones que es la suma de los módulos individuales. El apilamiento puede darse combinando módulos iguales o combinando módulos de distinto tamaño.

Ejemplos: Tarjetas de memoria en informática; Baterías eléctricas compuestas para distintos voltajes o amperajes; Embragues multidisco.

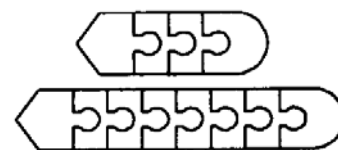


Figura 4.9

### *Adaptación después de la producción*

Estas estrategias son las que producen un aplazamiento mayor de la variedad, fuera ya del sistema productivo, y por lo tanto suelen dar lugar a los máximos ahorros de costes y a proporcionar la máxima usabilidad.



*Ajuste (Adjustment)*

Estrategia de personalización de un producto que permite al usuario su adaptación mediante la variación de algún parámetro. A diferencia de la fabricación a medida, el ajuste tiene lugar después de la producción y suele ser reversible.

Ejemplos: La regulación en altura de una silla de despacho o del asiento de un automóvil; La personalización de un programa de ordenador; El ajuste de un regulador de calefacción.



Figura 4.10

*Adaptación (Adaptation)*

Estrategia según la cual el producto se adapta automáticamente a las necesidades de la aplicación sin la necesidad de una acción deliberada del usuario.

Ejemplos: Cambio de marchas automático de automóvil; Reconocimiento e instalación automática de periféricos de ordenador.

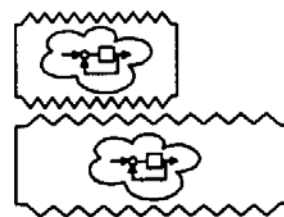


Figura 4.11

*Extensión (Widening)*

Consiste en crear productos o componentes que satisfagan una variedad de necesidades no contradictorias. Si bien su coste puede ser mayor, los gastos generales fijos son menores al aumentar la estandarización.

Ejemplo: Sistema de alimentación eléctrica multitensión (admite indistintamente varias tensiones eléctricas lo que unifica todas las versiones del producto) [Feitzinger & Lee, 1997].

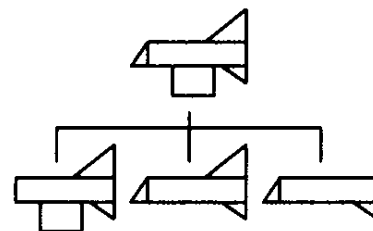


Figura 4.12

## 4.5 Conclusiones

Los principales aspectos tratados en este capítulo pueden resumirse en las siguientes conclusiones:

1. La arquitectura de un producto y, por extensión, la de una familia, un portafolio o una gama de productos, establece los principios de estructuración del sistema a través de reglas de diseño y de la articulación de sus partes en módulos, interfaces y plataformas.
2. El concepto de modularidad es complejo y abarca múltiples características de los productos y sistemas. En las acepciones más recientes, un sistema modular es aquel que organiza jerárquicamente la información asociada a sus partes en dos niveles: la *información oculta* embebida en los *módulos* y la *información visible* explicitada por las *interfaces*.
3. Varios autores [Ulrich y Tung, 1991; Eldgaar y Miller, 1999] han definido unos principios de estructuración modular de gran utilidad para el diseñador de productos y sistemas.

El establecimiento de la arquitectura de los productos y sistemas es una de las actividades más determinantes de su concepción y desarrollo y que más pueden incidir en su capacidad para responder a las necesidades y requerimientos de los usuarios.

Finalmente, también hay que señalar que el diseño de la arquitectura es uno de los factores con mayor potencial de innovación en los productos y procesos y que más pueden aumentar su capacidad competitiva.

## 4.6 Referencias

- [Alexander, C., 1964] Alexander, C. (1964), "Notes on the Synthesis of Form", Cambridge, Massachusetts, Harvard University Press.
- [Baldwin y Clark, 2000] Baldwin, C.Y., Clark, K.B. (2000), "Design Rules. Volume 1: The Power of Modularity", Cambridge, Massachusetts, MIT Press.
- [Coulter et al., 1998] Coulter, S.L.; McIntosh, M.W.; Bras, B.; Rosen, D.W. (1998), "Identification of Limiting Factors for Improving Design Modularity", ASME Design Engineering Technical Conferences, Atlanta, GA, September 13-16, ASME, DETC98/DTM-5659.
- [Elgaard y Miller, 1998] Elgaard, P., Miller T.D., (1998) "Designing Product Families", Design for Integration in Manufacturing, Proceedings of the 13<sup>th</sup> IPS Research Seminar, Fulgoe, Alborg University
- [Eppinger et al., 1994] Eppinger, S.D.; Whitney, D.E.; Smith, R.P.; Gebala, D.A. (1994), "A Model-Based Method for Organizing Tasks in Product Development", Research in Engineering Design(6): 1-13.
- [Fixson, 2001] Fixson, S.K. (2001), "Three Perspectives on Modularity – A Literature Review of a Product Concept for Assembled Hardware Products", Working Paper Series, MIT ESD-WP-2001-06.
- [Henderson y Clark, 1990] Henderson, R.M., Clark, K.B. (1990) "Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing Product", *Administrative Science Quarterly* 35.
- [Huang y Kusiak, 1998] Huang, C.C., Kusiak, A. (1998), "Modularity in Design of Products and Systems." IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans 28(1): 66-77.
- [Krishnan y Ulrich, 2001] Krishnan, V. y Ulrich, K.T. (2001), "Product Development Decisions: A Review of the Literature." Management Science 47(1): 1-21.
- [Lampel y Mintzberg, 1996] Lampel, J., Mintzberg, H. (1996), "Customizing Customization", Sloan Management Review, pp. 21-30, Fall 1996.
- [Meyer y Lehnerd, 1993] Meyer, M.H., Lehnerd, A.P. (1997), "The Power of Product Platforms: Building Value and Cost Leadership", Free Press, New York.
- [Miller y Elgaard, 1998] Miller, T.D.; Elgaard, P. (1998), "Defining Modules, Modularity and Modularization", Proceedings of the 13th IPS Research Seminar, Fuglsoe 1998, Aalborg University.
- [Miller y Elgaard, 1999] Miller, T.D.; Elgaard, P. (1999), "Structuring Principles for Designer", Proceedings of the 1999 CIRP International Design Seminar: Integration of Process Knowledge into Design Support Systems, Kluwer Academic Publishers..
- [Newcomb et al., 1998] Newcomb, P.J.; Bras, B.; Rosen, D.W., (1998), "Implications of Modularity on Product Design for the Life Cycle", Journal of Mechanical Design 120(3): 483-491.
- [Pine, 1993] Pine, B.J.II (1993), "Mass Customization", Boston, Massachusetts.
- [Robertson y Ulrich, 1998] Robertson, D., Ulrich, K. (1998) "Platform Product Development", Sloan Management Review, Wharton Scholl, Philadelphia, EUA

- [Sanchez y Mahoney, 1996] Sanchez, R.; Mahoney, J.T. (1996), "Modularity, Flexibility, and Knowledge Management in Product and Organization Design." *Strategic Management Journal* 17(Winter Special Issue): 63-76.
- [Starr, 1965] Starr, M.K. (1965), "Modular Production - A New Concept." *Harvard Business Review* 43(November-December): 131-142.
- [Steward, 1981] Steward, D.V. (1981), "System Analysis and Management: Structure, Strategy, and Design", New York/Princeton, Petrocelli Books.
- [Stone y Wood, 2000] Stone, R.B., Wood, K.L. (2000), "Development of a Functional Basis for Design", *Journal of Mechanical Design* 122(4): 359-370.
- [Stone et al., 1998] Stone, R.B., Wood, K.L., Crawford, R.H. (1998), "A Heuristic Method to Identify Modules from a Functional Description of a Product", *ASME Design Engineering Technical Conferences*, Atlanta, GA, ASME, DETC98/DTM-5642, 11.
- [Ulrich y Tung, 1991] Ulrich, K.T.; Tung, K. (1991), "Fundamentals of Product Modularity", Sloan School of Management at MIT, 14.
- [Ulrich, 1995] Ulrich, K.T. (1995), "The role of product architecture in the manufacturing firm." *Research Policy* 24: 419-440.
- [Ulrich y Eppinger, 2003] Ulrich, K.T., Eppinger, S.D. (2003), "Product Design and Development", Boston, McGraw-Hill.
- [Yu et al., 1998] Yu, J.S.; Gonzalez-Zugasti, J.P.; Otto, K.N., (1998) "Product Architecture Definition based upon Customer Demands", *ASME DETC98/DTM-5679*, Atlanta, EUA.



---

## 5 Flujo de información en el proceso de diseño

---

**Inés Ferrer, Quim de Ciurana**

*Grupo de investigación de producto, Proceso y Producción (GREPP)*

*Universitat de Girona, España*

[ines.iferrer@udg.es](mailto:ines.iferrer@udg.es), [quim.ciurada@udg.es](mailto:quim.ciurada@udg.es)

**José Ríos**

*(Dpto. de Ing. Mecánica y Fabricación, Universidad Politécnica de Madrid, España)*

*Department of Enterprise Integration, Cranfield University, Cranfield, Bedfordshire, UK*

[j.rios@cranfield.ac.uk](mailto:j.rios@cranfield.ac.uk)

*El éxito de cualquier producto/proceso dependerá, en su mayor parte, de que este cumpla con las expectativas marcadas por los clientes y por los usuarios que tienen relación con el mismo. Partiendo de las necesidades de los clientes, y con el soporte de los diferentes modelos del proceso de diseño, la información evoluciona hasta obtener el producto/proceso final. La información, en particular los requerimientos, que hay que definir en las fases iniciales de diseño (ideación y conceptual), y la relevancia sobre la estructuración y formalización de la misma son aspectos tratados en este capítulo. Desde el punto de vista de la evolución de la información, también se revisan diferentes metodologías para evolucionar la misma.*

### 5.1 Introducción

Desde los años 60, el proceso de diseño ha sido un motivo de estudio por varios investigadores a nivel mundial, con el objetivo fundamental de realizar una sistematización del mismo que facilite su formalización y optimización. [French, 1981; Pugh, 1990; Ullman, 1992; Pahl et al., 1996; Cross, 1994]. El enfoque metodológico, orientado al desarrollo de metodologías de diseño basadas en la descomposición funcional, que dividen a este en fases, se pueden considerar pioneras en este campo de investigación [Pahl et al., 1996]. No obstante, las investigaciones en el campo de diseño han dado lugar a otras metodologías, modelos y técnicas, como por ejemplo Quality Function Deployment (QFD) [Akao, 1990] y la metodología basada en la Teoría de Diseño Axiomático [Suh, 1990; Suh, 2001], que aunque tienen objetivos similares, proponen procedimientos diferentes, pero que en términos generales resultan complementarios [Oosterman, 2001].

Considerando el enfoque metodológico, en el proceso de diseño se han definido diferentes actividades para cada una de las fases: definición de tareas, conceptual, materialización y detalle [Pahl et al., 1996]. Por ejemplo, las actividades de definir los requerimientos, definir el concepto y seleccionar el concepto, en la fase de diseño conceptual [Dieter, 2000]. Paralelamente, varios métodos y herramientas han sido desarrollados para asistir en las diferentes actividades del diseño, como son: las matrices de Pugh, diagramas de robustez, diagramas QFD, o brainstorming (lluvia de ideas). En general, en cada actividad, se parte de una información inicial, que evoluciona o se transforma, para dar lugar a una información final o resultado (figura 5.1). La combinación de las diferentes actividades, a lo largo de las fases del diseño, permitirá alcanzar el diseño final.

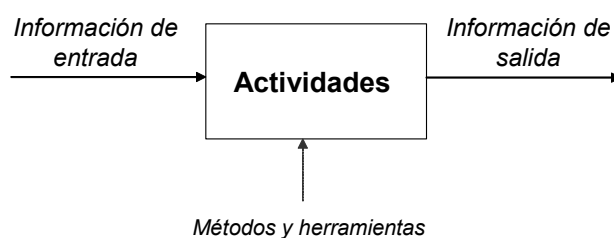


Figura 5.1: Flujo de información en las actividades del diseño.

La primera sección de este capítulo, se va a centrar en la información que hay que definir en las fases iniciales del diseño, concretamente la fase de ideación y en la conceptual. En la segunda sección, se revisarán y compararán dos métodos diferentes para evolucionar la información durante el proceso de diseño. Y por último, la tercera sección, se focalizará en las investigaciones en el campo de la definición, formalización y estructuración de la información de diseño, para asistir al diseñador en la definición de la misma. De este modo, tres aspectos importantes del proceso de diseño serán tratados, de forma sintetizada, en este capítulo: la información, la evolución y definición de la información.

## 5.2 Información en el proceso de diseño

Existen diversas razones que pueden impulsar el diseño de productos, dando lugar a diferentes tipos de proyectos, en los que se incluye desde la variación o mejora de productos existente hasta el nuevo desarrollo [Dieter, 2000]. Sin embargo, independientemente de las causas que inducen al diseño, un proyecto se realiza para satisfacer unas necesidades. A menudo, las necesidades se limitan a las peticiones de los clientes, usuarios finales o necesidades del mercado, no obstante, este concepto tiene un campo de aplicación mucho más amplio. En general, está ampliamente asumido dentro del entorno de Ingeniería de Diseño, que las necesidades se deberían obtener de todos los miembros relacionados con el proyecto/producto (stakeholders), y para todos ellos se deberían satisfacer. En las metodologías de diseño las necesidades se conocen como necesidades del cliente o usuario y son el punto de partida en el proceso de diseño [Pugh, 1990; Akao, 1990; Ullman, 1992; Roozenburg, 1995; Pahl et al., 1996; Otto y Wood, 2001; Suh, 2001].

Cuando las necesidades de los clientes ya han sido detectadas y analizadas, se procede a la definición de lo que normalmente se denominan requerimientos. Analizando algunas de las diferentes metodologías de diseño, se observa que el concepto de requerimiento no es tratado exactamente de una forma común. En primer lugar, la taxonomía usada por los investigadores, para referirse al concepto de los requerimientos, es diferente (tabla 3.1), y en segundo lugar, las clasificaciones que se proponen de los requerimientos, también lo es (tabla 3.2). Estas diferencias pueden generar confusión en la definición y entendimiento de la información a emplear en el proceso de diseño, motivo por el cual a continuación se presentan un conjunto de definiciones relacionadas con los términos: requerimiento, restricción, y requerimiento funcional.

Según Alexander: “un requerimiento es una declaración de una necesidad, algo que alguna clase de usuario u otro interesado requiere” [Alexander, 2002]. En general, se observa que existen diferentes formas de definir el término ‘requerimiento’, viéndose influenciada esta situación por el entorno de ingeniería del cual procede la definición: Diseño, Sistemas, Requerimientos [Ríos, 2004].

Tabla 5.1 Denominaciones del término requerimiento en diseño

<b>Autor</b>	<b><i>Denominación del termino requerimiento</i></b>
[Ullman, 1992]	Especificaciones de ingeniería
[Pahl et al., 1996]	Especificaciones de diseño (“check list”)
[Dieter, 2000]	Especificaciones de diseño de producto
[Otto y Wood, 2001]	Especificaciones de producto
[Alexander, 2002]	Requerimientos de usuario
[Suh, 1990; Suh, 2001]	Requerimiento funcional

De Ingeniería de Diseño, podemos considerar la definición propuesta por Cross: “un requerimiento es una demanda que debe ser satisfecha y debe expresarse en términos cuantificables, denota lo que un producto debe hacer” [Cross, 1994]. De Ingeniería de Sistemas, podemos considerar la definición de requerimiento propuesta en el estándar IEEE-1220: “una declaración que identifica una característica de diseño o restricción operacional o funcional relativa a un producto o proceso, que es no ambigua, comprobable o medible, y necesaria para la aceptación del producto o proceso (por los consumidores o por las directivas internas de aseguramiento de calidad” [IEEE Std 1220-1998]. De Ingeniería de Requerimientos, podemos considerar la definición propuesta por Montoya y Sommerville: “Los requerimientos son descripciones de cómo un sistema debe comportarse, información del dominio de aplicación, restricciones en su funcionamiento, o especificaciones de una propiedad o atributo del sistema. En ocasiones son restricciones en el proceso de desarrollo del sistema” [Kontoya y Sommerville, 1998].

Otro término íntimamente relacionado es ‘restricción’, fruto del análisis de las diferentes definiciones propuestas se puede concluir que una restricción afecta a algún tipo de requerimiento y limita el rango de soluciones posibles [Rios, 2004], [Hunter et al. 2005]. Finalmente, hacer mención al término ‘requerimiento funcional’, que se considera como un tipo particular de requisito, y representa lo que el producto tiene que hacer independientemente de la solución de diseño adoptada [Pahl et al., 1996; Suh, 2001]. Considerando los principios básicos de la disciplina de Ingeniería de Requerimientos, Ríos define un requerimiento funcional como: “una declaración única y no ambigua de una única funcionalidad formulada en lenguaje natural, escrita de manera que pueda ser categorizada, trazada, medida, verificada y validada”, [Rios, 2004; Hunter et al., 2005; Rios et al., 2005].

En general, puede afirmarse que las diferencias entre estas definiciones resultan en ocasiones no evidentes, y redundan en un diferente entendimiento, formalización y expresión de los distintos tipos de ‘requerimientos’. Si bien desde un punto de vista académico está claramente asumido que los requerimientos deberían ser independientes de la solución de diseño adoptada, esta situación no es del todo cierta en la realidad. Según se señala en [Chakrabarti et al., 2004], durante las fases de diseño conceptual y de materialización los requerimientos funcionales no se representan de forma explícita, y en general se obtienen del análisis de las soluciones de diseño propuestas, lo cual representa una clara contradicción con el principio básico, presentado por diferentes autores, de la necesidad de realizar una definición funcional previa a cualquier identificación de soluciones posibles. Considerando la Teoría de Diseño Axiomático [Suh, 1991], parece lógico afirmar que los requerimientos funcionales deberían estar claramente definidos previamente a la selección de cualquier solución de diseño, y conforme el proceso de diseño progresa, las diferentes

restricciones enlazadas a los requerimientos deberían ser definidas para reducir el conjunto posible de soluciones. Como también se concluye en [Chakrabarti et al., 2004], con objeto de que los requerimientos se vean cumplidos por el diseño final, ‘estos deben ser identificados, entendidos, recordados y usados a lo largo del proceso de diseño’, lo que nos conduce directamente a la necesidad de capturar, formalizar y representar requerimientos y la información relacionada a lo largo del proceso de diseño, y pone de manifiesto su relevancia actual.

Considerando, las denominaciones que se representan en la tabla 5.1, se observa que resultan bastante similares, fruto sin duda de que la procedencia de sus autores es Ingeniería de Diseño. Sin embargo cuando se considera la clasificación de los requerimientos, las diferencias resultan más evidentes (ver tabla 5.2).

Tabla 5.2 Clasificaciones de los requerimientos

[Pahl et al., 1996]	[Ullman, 1992]	[Dieter, 2000]	[Kontoya y Sommerville, 1998]	[Otto y Wood, 2001] [Suh, 1990; Suh, 2001]
Geometría	Comportamiento funcional	Cumplimiento funcional	Funcional	Funcional
Cinemática	Factores humanos	Requerimientos físicos	No funcional	Restricciones
Fuerzas	Requerimientos físicos	Factores de ambiente	-Proceso	
Energía	Fiabilidad	Aspectos del ciclo de vida	Entrega	
Material	Ciclo de vida	Factores humanos	Implementación	
Señales	Recursos	Restricciones de empresa	Estándares	
Seguridad	Requerimientos fabricación	Requerimientos sociales, legales y políticos	-Producto	
Ergonomía			-Utilidad	
Producción			-Fiabilidad	
Control de calidad			-Seguridad	
Montaje			-Eficiencia	
Transporte			-Comportamiento	
Operación			-Capacidad	
Coste			-Externos	
Producción [schedule]			-Restricciones legales	
			-Restricciones económicas	
			- Interoperabilidad	



En general, no se trata de evaluar cual de las clasificaciones puede ser mejor, pues el uso de cada uno de ellos depende en gran medida del tipo de producto, y a que tipo de propiedades se refieren, pero sí es importante considerar que la utilización de una terminología común ayudaría al diseñador en la tarea de definición de requerimientos. En este sentido, destacar que una de las aproximaciones más importantes en la clasificación de requerimientos es la definición de taxonomías. Gershenson y Stauffer proponen una taxonomía de requerimientos con cuatro tipos básicos: requerimientos de usuario final, requerimientos corporativos, requerimientos técnicos y requerimientos reguladores. Y en particular, se centran principalmente en requerimientos de usuario final [Hauge y Stauffer, 1993], y en requerimientos corporativos [Gershenson y Stauffer, 1999]. Adicionalmente, al aspecto de clasificación, la definición de términos, con objeto de entender un mismo significado, es el objetivo que se persigue en el desarrollo de una ontología de requerimientos por parte del Laboratorio de Integración de Empresa de la Universidad de Toronto [Lin, et al., 1996]. La definición y clasificación de términos constituye un elemento fundamental en cuanto que supone una referencia para el entendimiento y especificación de requerimientos de producto [Rios, 2004].

A pesar de que existen diferencias entre las diferentes clasificaciones de requerimientos, se pueden establecer ciertas equivalencias. La clasificación simplificada propuesta por [Otto y Wood, 2001] proviene de la evolución de las metodologías prescriptivas de diseño o metodologías de fases [Pugh, 1990; Ullman, 1992; Pahl et al., 1996]. [Otto y Wood, 2001] traducen directamente, las necesidades de los clientes en requerimientos funcionales y restricciones, sin considerar una clasificación tan completa de los requerimientos (figura 5.2). Esta traducción consiste en analizar como se satisfacen las necesidades del cliente. Cuando una necesidad es satisfecha por medio de lo “qué” tiene que hacer el producto, es decir, mediante una función, se considera que es un requerimiento funcional, mientras que cuando es satisfecha por medio de “cómo” el producto tiene que ser cuando tenga forma, es decir, mediante las propiedades del producto, se considera que es una restricción. De forma opcional, [Otto y Wood, 2001] proponen apoyarse en las “categorías de búsqueda y descomposición de especificaciones [Franke, 1975]”, similares a la clasificación de requerimientos propuesta por [Pahl et al., 1996], para organizar inicialmente los requerimientos, y posteriormente, diferenciar entre los requerimientos funcionales y las restricciones. El proceso de traducción de los requerimientos de cliente en requerimientos funcionales, en principio, podría facilitarse mediante la aplicación de la metodología QFD [Akao, 1990].

En cualquier caso, una correcta definición de requerimientos es un punto clave para el éxito en el diseño de un producto. Los errores en su definición implicaran no satisfacer las necesidades demandadas y con ello el fracaso del producto, además de un incremento del coste en caso de tener que redefinirlos cuando el proyecto ya esta en desarrollo [Alexander, 2002].

Como se ha comentado anteriormente, los requerimientos funcionales se definen como una declaración del comportamiento específico de un diseño, es decir “lo que” el producto debe hacer. Mientras que las restricciones se definen como “una limitación, que en general afecta a algún tipo de requerimiento, y que limita el rango de posibles soluciones que satisfacen los requerimientos”. Las restricciones se pueden clasificar de tres formas en el entorno de diseño [Suh, 2001; Alexander, 2002]: restricciones de usuario o de entrada, restricciones del sistema y restricciones técnicas. Las restricciones de usuario o de entrada son las restricciones que se definen en relación con los requerimientos de usuario, las restricciones del sistema son restricciones impuestas por el sistema en el cual las soluciones de diseño deben funcionar, y la restricciones técnicas se refieren a posibles limitaciones en la solución de diseño que aparecen conforme se avanza en su desarrollo.

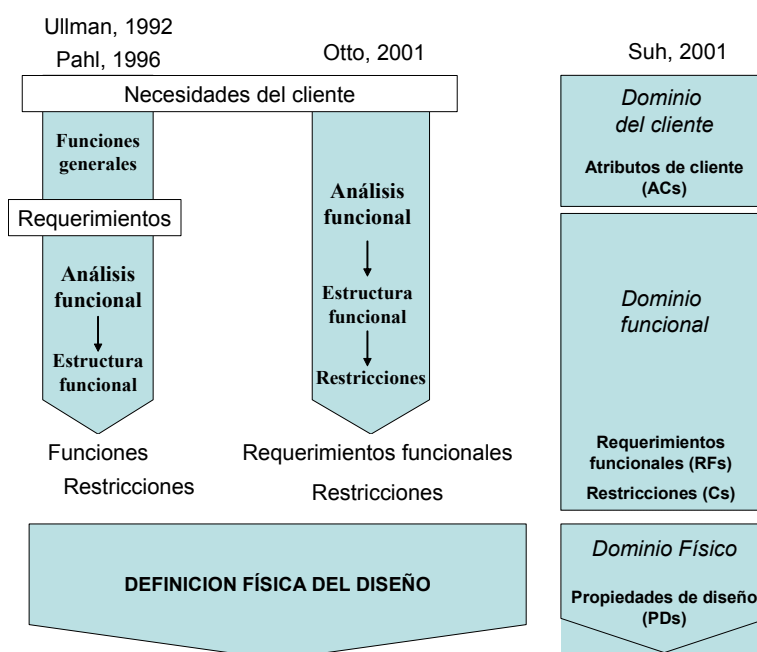


Figura 5.2 Flujo de Información en las fases iniciales del diseño, ideación y desarrollo conceptual.

A lo largo de esta sección se ha expuesto la información que hay que definir en las fases iniciales del diseño, concretamente en la fase de ideación y diseño conceptual. No obstante, también es interesante representar la relación que existe en la definición de la información entre las metodologías prescriptivas, que dividen el proceso de diseño en un modelo de fases [Pugh, 1990; Ullman, 1992; Pahl et al., 1996], y las metodologías de artefacto o evolutivas, que definen el proceso de diseño centrándose en la información que hay que definir y en la metodología de evolución de esta para obtener el producto final [Akao, 1990; Suh, 1990; Suh, 2001] (figura 5.2). Aunque son dos visiones diferentes de estructurar el diseño, la información que se precisa y se define es la misma, y los métodos propuestos resultan complementarios.

### 5.3 Evolución de la información en el proceso de diseño

Para conseguir que el diseño evolucione desde que se detecta la necesidad hasta un diseño acabado y materializado, es necesario que la información relacionada con el mismo, evolucione desde un estado conceptual hasta un nivel completamente detallado.

En la literatura de diseño se observa dos sistemas para evolucionar la información de diseño: la evolución de la información en las metodologías descriptivas o de fases [Pugh, 1990; Ullman, 1992; Roozenburg, 1995; Pahl et al., 1996], y la evolución de la información en las metodologías evolutivas, concretamente, la metodología de Diseño Axiomático [Suh, 1990; Suh, 2001]. Considerando que la información del proceso de diseño se puede englobar en los dominios propuestos por [Suh, 1990]: dominio de cliente, dominio funcional, dominio físico y dominio del proceso; a continuación se describe el proceso de evolución para cada metodología.

En las metodologías prescriptivas o de fases la información evoluciona de forma secuencial entre los dominios, y se puede establecer una cierta relación entre los dominios y las etapas de diseño (figura 5.3). Por ejemplo, en la etapa de diseño conceptual, el dominio funcional, compuesto por

los requerimientos funcionales (RF) y las restricciones asociadas, está casi completamente definido; mientras que el dominio físico, formado por los parámetros de diseño (PD), justo se empieza a definir. Partiendo de las necesidades de los clientes, se realiza el análisis funcional para obtener la estructura funcional del producto, compuesta de un conjunto de funciones generales y las subfunciones necesarias para satisfacer cada una de las funciones [Ullman, 1992; Pahl et al., 1996]. Posteriormente se definen los requerimientos funcionales y las restricciones. Cuando el dominio funcional ya está completamente definido, se inicia la definición física de los componentes requeridos para satisfacer las funciones y subfunciones, dando lugar a la estructura de trabajo. La estructura de trabajo se compone de la combinación de principios de trabajo. Los principios de trabajo se definen para cada subfunción y reflejan el efecto físico necesario para una función dada, así como características del material y la forma [Pahl et al., 1996]. En resumen, se definen los parámetros de diseño (DP), del dominio físico. Durante la definición física también se definen algunas funciones auxiliares, aunque el desarrollo funcional más importante ya se ha producido anteriormente [Ullman, 1992; Pahl et al., 1996;]. La elección de ciertas soluciones de diseño estará limitada por las restricciones, ya sean restricciones de usuario o del sistema. No obstante, la determinación de los parámetros físicos o parámetros de diseño no sólo depende de las funciones y las restricciones, sino que también depende del proceso de fabricación. Las variables claves, características del proceso, se definen como las variables del proceso (VPs), en el dominio de los procesos. El dominio físico limita el dominio del proceso [Lovatt, 1998; Shercliff y Lovatt, 2001], pero el dominio de proceso también limita el dominio físico [Boothroyd, 1994].

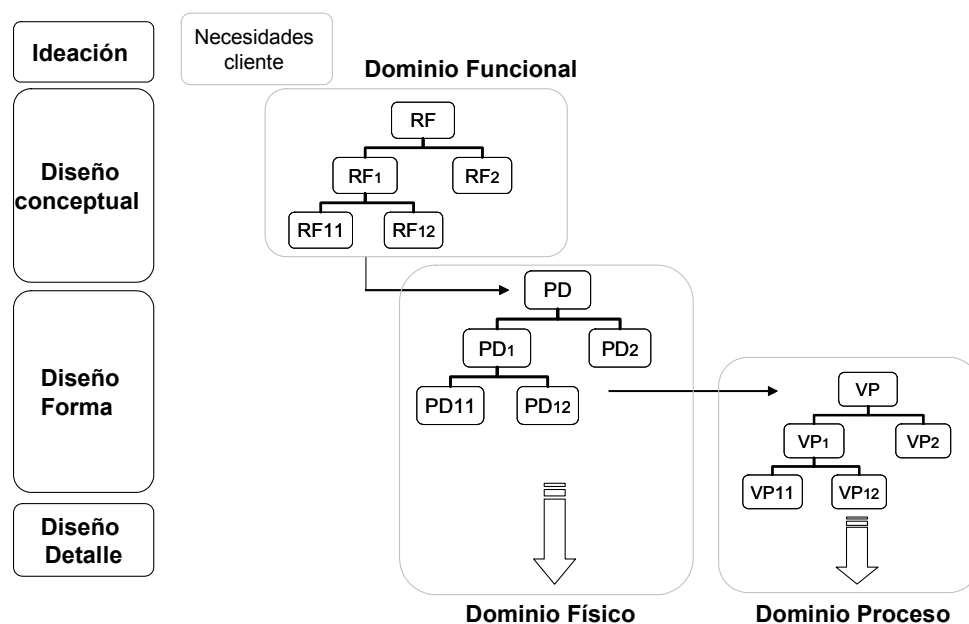


Figura 5.3 Evolución de la información en los métodos prescriptivos o de fases [Pugh, 1990; Ullman, 1992; Roozenburg, 1995; Pahl et al., 1996]

En la metodología de diseño axiomático la evolución de la información se produce de forma paralela para los tres dominios (figura 5.4). Partiendo de las necesidades del cliente se definen los requerimientos funcionales que el producto tiene que satisfacer, para el primer nivel de la fase de diseño conceptual (figura 5.4). A continuación, se identifican los parámetros de diseño para satisfacer dichos requerimientos funcionales, y por último, se determinan las variables de proceso que son necesarias para obtener los parámetros físicos. Cuando el primer nivel ha sido completado

para los tres dominios, la información se descompone en un segundo nivel. La definición de la información en este segundo nivel dependerá de las decisiones que se han tomado en el nivel anterior. Por ejemplo, supongamos que se pretende diseñar un motor para satisfacer los requerimientos funcionales (RF) de: ir hacia delante, atrás, parar y girar. Cuando este primer nivel de requerimientos ya ha sido definido, se deben conceptualizar los parámetros de diseño (PD) para este primer nivel [Suh, 2001]. Posteriormente, partiendo de las decisiones tomadas sobre los parámetros de diseño de este primer nivel, ya se pueden definir los requerimientos funcionales para un segundo nivel. Dicho de otro modo, los requerimientos funcionales serán diferentes dependiendo de los parámetros de diseño que se hayan elegido en el nivel anterior, es decir, los requerimientos funcionales son diferentes cuando la solución física elegida es un motor de gasolina, o cuando es un motor eléctrico. Este proceso de descomposición se va repitiendo hasta que el diseño está completamente detallado, en la fase de diseño de detalle, para los tres dominios. El proceso de descomposición genera una jerarquía de información en cada dominio.

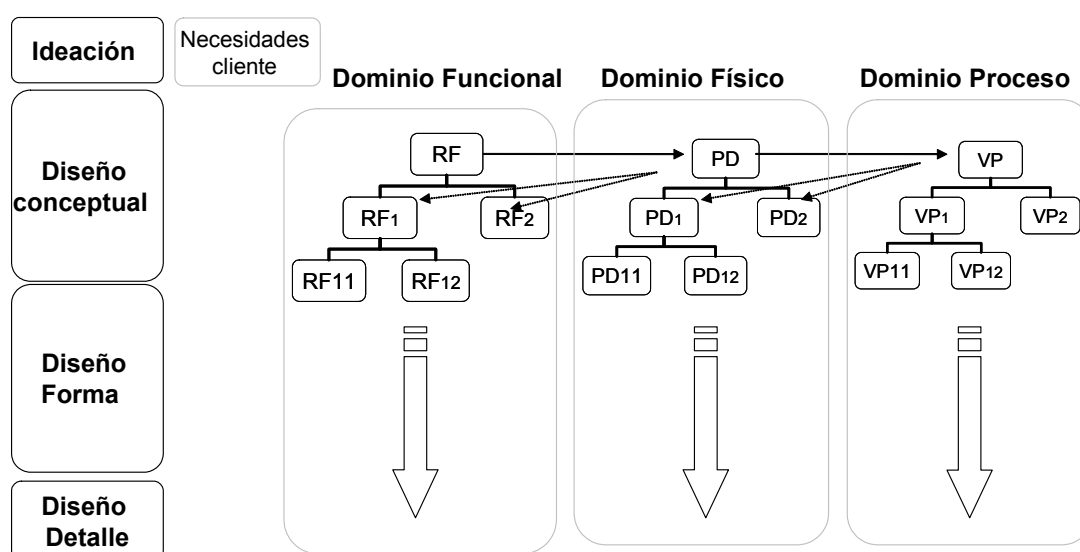


Figura 5.4 Evolución de la información en la metodología de Diseño Axiomático [Suh, 1990; Suh, 2001]

Comparando las dos metodologías se observa, que en las metodologías prescriptivas el dominio funcional es independiente de cualquier solución física del diseño, ya que primero se realiza el análisis funcional completo y posteriormente la definición física del diseño. En la metodología de Diseño Axiomático [Suh, 1990; Suh, 2001] el dominio funcional es dependiente de la solución física del diseño, debido a que los requerimientos funcionales se definen para la solución física (PD) que se ha elegido en el dominio físico del nivel anterior.

La correspondencia de la información entre los dominios se trata en más profundidad en la Teoría de Diseño Axiomático que en las metodologías prescriptivas. La Teoría de Diseño Axiomático establece una base científica para diseñar, basada en el cumplimiento de axiomas para evolucionar la información y garantizar que las decisiones que se toman son acertadas. Dichos axiomas tienen por objetivo mantener la independencia funcional entre los requerimientos (axioma de independencia) y minimizar la cantidad de información en el proceso de diseño (axioma de información). Este sistema permite identificar para cada parámetro de diseño, el requerimiento funcional que está satisfaciendo. En este sentido, la trazabilidad de la información entre los

dominios es más explícita y garantizar la satisfacción de las necesidades del cliente al final del diseño, tiene menos dependencia de la experiencia del diseñador. No obstante, es un método cuya aplicación no es fácil, y por el momento, la investigación, está básicamente centrada en el dominio funcional y en el dominio físico. Los métodos prescriptivos son métodos empíricos, interactivos e intuitivos que se centran más en estructurar el diseño y en determinar la información que se debe obtener, que en definir como esta debe evolucionar. Tal y como se cita en [Otto y Wood, 2001]: “La transición de necesidades de clientes a soluciones concretas es más parecido a un arte que a una ciencia o método [Dixon and Poli, 1995]”. Por este motivo, la trazabilidad de la información entre los dominios es más implícita y garantizar que las necesidades del cliente sean satisfechas al final del diseño, en general, tienen bastante relación con la experiencia del diseñador. Aunque actualmente, se detecta la tendencia de sistematizar de forma explícita la transición de la información, entre los dominios del diseño, por parte de los métodos prescriptivos [Otto y Wood, 2001].

En ambas metodologías, el dominio de proceso tiene un efecto relevante sobre la definición física del producto. La metodología de Diseño Axiomático defiende que este efecto se debería considerar desde el principio del desarrollo del diseño. Las variables del proceso (VPs), del dominio de los procesos, se definen como las variables claves, características del proceso, que pueden generar las propiedades de diseño especificadas. Sin embargo, hay que reconocer que [Suh, 1990; Suh, 2001] no trata este dominio en profundidad durante su investigación. Los métodos prescriptivos no especifican claramente cuando tiene que ser considerado el efecto del proceso, aunque lo sitúan en un estado avanzado de la fase de diseño de materialización [Ullman, 1992; Pahl et al., 1996; Dieter, 2000]. Todos ellos exponen la importancia que este efecto tiene sobre el diseño, sin embargo es [Ullman, 1992] quien pone más en evidencia esta relación: función, material, proceso, forma. La relación entre el proceso de fabricación y el diseño, se trata en más profundidad en investigaciones relacionadas con la selección de procesos o el diseño para fabricar [Ishii et al., 1993; Boothroyd, 1994; Lovatt, 1998; Shercliff y Lovatt, 2001; Swift, 2003]

Las dos metodologías expuestas a lo largo de esta sección, permiten evolucionar la información para obtener el diseño final, aunque con principios diferentes. Sin embargo, ambas metodologías usan los métodos y herramientas que se han ido definiendo para asistir en el proceso de diseño, como las matrices de Pugh, los diagramas de robustez, y los diagramas QFD.

## 5.4 Formalización y estructuración de la información de diseño

En la primera sección de este capítulo se ha expuesto la información que hay que determinar en las fases iniciales del diseño, y para ello, las definiciones de ciertos términos han sido requeridas. La definición de la información del proceso de diseño, no sólo es estudiada desde el punto de vista semántico, sino que la estructura sintáctica o la anatomía de la información también se considera un punto clave para que el diseñador pueda alcanzar la correcta definición de la misma [Alexander, 2002].

La investigación de la definición y formalización de la información tiene sus orígenes en el inicio de las investigaciones del proceso de diseño y en el objetivo de alcanzar su formalización. Por ejemplo [Pahl et al., 1996] define el concepto de función como: “La función es la relación entre las entradas y salidas de un sistema cuyo objetivo es llevar a cabo una tarea. Las funciones representan “que” tiene que hacer el producto para satisfacer las necesidades del cliente independiente que cualquier solución física. Las funciones son normalmente definidas mediante declaraciones formadas por: verbo y nombre. Las funciones se derivan de conversiones de flujo:

material, energía y señales“. En esta definición se incluye tanto la definición semántica como la sintáctica, y permite al diseñador definir de forma más precisa las funciones del un producto. Las definiciones en el ámbito funcional han evolucionado notablemente, mediante taxonomías relacionadas con los verbos y los flujos, que definen las funciones, y mediante estructuras sintácticas más detalladas [Otto y Wood, 2001]. Un ejemplo de ello es la definición del flujo, el cual se define mediante el flujo básico, una clase de flujo y un complemento (tabla 5.3).

Tabla 5.3 Ejemplos de definiciones de funciones

Verbo	Flujo Básico	Clase de flujo	Complemento
Recibir	Energía	humana	de fuerza
Transferir	Energía	humana	de movimiento
Transferir	Energía	mecánica rotacional	
Transportar	Material	sólido	

Considerando el ámbito de la Ingeniería de Requerimientos, también existe un amplio número de trabajos que tienen por objetivo alcanzar una formalización de estos. Por ejemplo, Alexander propone una estructura básica para la definición de requerimientos [Alexander, 2002], donde define que la anatomía de un buen requerimiento debe contener: el tipo de usuario (referido a quien se beneficia del requerimiento), el tipo de resultado (el verbo del requerimiento), y aquello que el usuario quiere o desea alcanzar, formado por un objeto y un calificador (Tabla 5.4).

Tabla 5.4 Ejemplo de la definición de requerimientos

<b>Tipo de usuario</b>	El operario...
<b>Tipo de resultado</b>	...debe ser capaz de ver...
<b>Objeto</b>	...la luz de la alarma...
<b>Complemento</b>	...desde dos metros de distancia

Siguiendo esta línea de trabajo, en [Hunter et al, 2005] se propone la estructura de un requerimiento funcional aplicado al diseño de utillajes. La estructura propuesta se basa en:

Tabla 5.5 Ejemplo de la definición de requerimientos funcionales [Hunter et al., 2005]

<b>Acción</b>	Verbo activo – función del utillaje
<b>Objeto</b>	Nombre – objeto que recibe la acción
<b>Recurso</b>	Nombre – objeto donde se realiza la acción
<b>Calificadores</b>	Grupo adjetivado cuantitativo o grupo de nombres que permiten definir restricciones asociadas con la función

La definición, formalización y estructuración de la información que hay que definir durante el proceso de diseño puede ayudar al diseñador a definir que conoce al inicio de cada tarea y que debe obtener al final de la misma, sirviendo como elemento de representación explícita de la información asociada con cada fase del diseño.

## 5.5 Conclusiones

El proceso de diseño es la primera fase del ciclo de vida del producto, motivo por el cual ha sido objetivo de investigaciones desde varias décadas, y desde varias perspectivas; en el presente trabajo se han considerado dos aproximaciones: metodologías prescriptivas, y metodologías evolutivas. A lo largo de este capítulo, se ha reflejado la evolución de las investigaciones relacionadas con la información que es necesaria y la que se define en el proceso de diseño, en particular requerimientos y funciones. A modo de resumen, se puede concluir que es necesario:

1. Formalizar el proceso de diseño junto con la forma en que la información es expresada. La formalización del proceso permite al diseñador conocer como deber evolucionar la información a lo largo de dicho proceso.
2. Definir la información de forma explícita y estructurada, para asistir al diseñador en la definición de la misma. Estas definiciones le permiten avanzar en el proceso de diseño sin ambigüedades y teniendo claro el objetivo que hay que satisfacer en cada etapa. Así como le pueden asistir a validar que el diseño final cumplirá con todos los requerimientos iniciales del proyecto.
3. Definir la información que desde etapas posteriores al diseño, como fabricación, debe ser considerada en la fase de diseño y su relación con los requerimientos y soluciones de diseño adoptadas.

## 5.6 Referencias

- [Akao, 1990], Akao, Y., (1990), "Quality function deployment: integrating customer requirements into product design", Productivity Press, Cambridge, Mass.
- [Alexander, 2002], Alexander, I., (2002), "Writing better requirements". Addison-Wesley, Boston, MA,
- [Boothroyd, 1994], Boothroyd G., Dewhurst P., Knight W.A., (1994), "Product design for manufacture and assembly", New York.
- [Chakrabarti et al. 2004], Chakrabarti, A., Morgenstern, S., Knaab, H., (2004), Identification and application of requirements and their impact on the design process: a protocol study, Research in Engineering Design, pp. 15 23-39.
- [Cross, 1994], Cross, N., (1994), "Engineering design methods: Strategies and tactics for product design", John Wiley & Sons, 2ª Ed.
- [Dieter, 2000], Dieter, G.E., (2000), "Engineering design : a materials and processing approach", McGraw-Hill College, Boston.
- [French, 1981], French, M., (1981), "Engineering Design, The conceptual Stage", London: Heneiman
- [Gershenson y Stauffer, 1999], Gershenson, J. K., and Stauffer, L. A. (1999); "A taxonomy for design requirements from corporate customers", Research in Engineering Design, vol 11, pp. 103-115.
- [Hauge y Stauffer, 1993], Hauge, P.L., Stauffer, L.A., (1993), "ELK: A method for eliciting knowledge from customers", Design and Methodology, vol. 53, ASME, pp. 73-81.

- [Hunter et al., 2005], Hunter, R., Rios, J., Perez, J.M., Vizan, A., (2005), A functional approach for the formalization of the the fixtures design process, Intl. Journal of Machine Tools and Manufacture, (accepted in March 2005 for publication).
- [IEEE Std 1220-1998], 'IEEE Standard for Application and Management of the Systems Engineering Process', IEEE Std 1220-1998
- [Ishii et al., 1993], Ishii,K., Yu,J.C. y Krizan,S., (1993), Computer-aided Design for Manufacturing Process Selection, Journal of Intelligent Manufacturing, vol. 4, pp. 199-208.
- [Kotonya y Sommerville, 1998], Kotonya, G., and Sommerville, I., (1998), "Requirements engineering: processes and techniques", John Wiley & Sons, Chichester, UK.
- [Lin et al., 1996], Lin, J., Fox, M. S., Bilgic, T., (1996), "A requirement ontology for engineering design", Concurrent Engineering: Research and Applications, vol 4, nº 3, pp. 279-291.
- [Lovatt, 1998], Lovatt,A., (1998), "Process selection in engineering design", Tesis doctoral. Cambridge
- [Oosterman, 2001], Oosterman,B.J., (2001), "Improving product development projects by matching product architecture and organization", Tesis doctoral, The Netherlands
- [Otto y Wood, 2001], Otto,K.N. y Wood,K.L., (2001), "Product design : techniques in reverse engineering and new product development", Prentice Hall,Upper Saddle River, NJ.
- [Pahl et al., 1996], Pahl,G., Beitz,W., Wallace,K., Blessing,L. y Bauert,F., 1996, "Engineering design : a systematic approach", Springer, London.
- [Pugh, 1990], Pugh,S., (1990), "Total design : integrated methods for successful product engineering". Addison-Wesley,Wokingham.
- [Rios et al., 2005], Rios, J., Lopez, A., Roy, R., (2005) "Design requirements change and cost impact: an aerospace perspective", CE2005: The 12th ISPE International Conference on Concurrent Engineering, Ft. Worth/Dallas, USA, July, 2005 (accepted)
- [Rios, 2004], Rios, J., (2004), "Requirements in Design: a integrated view", Decision Engineering Report Series, Cranfield University, (draft-version November 2004, to be published)
- [Roozenburg, 1995], Roozenburg, N.F.M., (1995), "Product design: fundamentals and methods", Wiley,Chichester.
- [Shercliff y Lovatt, 2001], Shercliff, H.R. y Lovatt,A.M., (2001), Selection of manufacturing processes in design and the role of process modelling, Progress in Materials Science, issue 3-4, vol. 46, pp. 429-459.
- [Suh, 1990], Suh,N.P., (1990), "The principles of design", OUP, New York.
- [Suh, 2001], Suh,N.P., (2001), "Axiomatic design : advances and applications", Oxford University Press,New York , Oxford.
- [Swift, 2003], Swift,K.G., (2003), "Process selection: from design to manufacture", Butterworth-Heinemann, Oxford.
- [Ullman, 1992], Ullman,D.G., (1992), "The mechanical design process", McGraw-Hill, New York – London.